



**TUGAS AKHIR - TF 141581**

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN  
KECEPATAN PUTARAN PADA GENERATOR SET  
BAHAN BAKAR BIOGAS DENGAN  
MENGUNAKAN METODE KONTROL PID**

**FARIDA IASHA  
NRP 02311645000006**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T  
NIP. 19690507 199512 1 001**

**Arief Abdurrahman, S.T., M.T.  
NIP. 19870712 201404 1 002**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2018**



**TUGAS AKHIR - TF 141581**

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN  
KECEPATAN PUTARAN PADA GENERATOR  
SET BAHAN BAKAR BIOGAS DENGAN  
MENGUNAKAN METODE KONTROL PID**

**FARIDA IASHA  
NRP 02311645000006**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T.  
NIP. 19690507 199512 1 001**

**Arief Abdurrahman, S.T., M.T.  
NIP. 19870712 201404 1 002**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2018**



**FINAL PROJECT TF 141581**

***DESIGN OF SPEED CONTROL SYSTEM IN  
BIOGAS FUEL GENERATOR SET BY USING PID  
CONTROL METHOD***

**Farida Isha  
NRP 02311645000006**

***Supervisor*  
Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T  
NIP. 19690507 199512 1 001**

**Arief Abdurrahman, S.T., M.T.  
NIP. 19870712 201404 1 002**

***DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2018***

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Farida Iasha  
NRP : 02311645000006  
Departemen : Teknik Fisika  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul **“Perancangan Sistem Pengendalian Kecepatan Putaran Pada Generator Set Bahan Bakar Biogas Dengan Menggunakan Metode Kontrol PID”** adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 24 Juli 2018  
Yang membuat pernyataan,



Farida Iasha  
NRP. 02311645000006

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN  
KECEPATAN PUTARAN PADA GENERATOR SET  
BAHAN BAKAR BIOGAS DENGAN MENGGUNAKAN  
METODE KONTROL PID**

**TUGAS AKHIR**

**Oleh:**


**Farida Iasha  
NRP. 02311645000006**

**Surabaya, 27 Juli 2018  
Mengetahui / Menyetujui**

**Dosen Pembimbing I**

  
**Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T**  
**NIP. 196905071995121001**

**Dosen Pembimbing II**

  
**Arief Abdurrakhman, S.T., M.T**  
**NIP. 19870712 201404 1 002**



  
**Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si, Ph.D**  
**NIP. 19780902 200312 1 002**

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN  
KECEPATAN PUTARAN PADA GENERATOR SET  
BAHAN BAKAR BIOGAS DENGAN MENGGUNAKAN  
METODE KONTROL PID**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Sarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
**Farida Iasha**  
NRP. 02311645000006

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr.Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T. .... (Dosen Pembimbing I)
2. Arief Abdurrahman, S.T., M.T. .... (Dosen Pembimbing II)
3. Ir. Ya'umar, M.T. .... (Ketua Dosen Penguji)
4. Dr. Katherin Indriawati, S.T, M.T ..... (Dosen Penguji I)
5. Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, S.T., M.T ..... (Dosen Penguji II)

**SURABAYA  
JULI 2018**

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN  
KECEPATAN PUTARAN PADA GENERATOR SET  
BAHAN BAKAR BIOGAS DENGAN MENGGUNAKAN  
METODE KONTROL PID**

**Nama Mahasiswa** : Farida Iasha  
**NRP** : 02311645000006  
**Program Studi** : S1 Teknik Fisika  
**Jurusan** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr.Bambang Lelono Widjiantoro,S.T  
Arief Abdurrahman, S.T, M.T

**Abstrak**

Bentuk energi yang paling dibutuhkan manusia saat ini adalah energi listrik. Sedangkan salah satu bahan bakar yang mampu menghasilkan listrik adalah biogas. Biogas yang dihasilkan oleh peternak sapi memiliki potensi yang besar di Indonesia. Namun dari sektor kelistrikan *output generator set* masih belum dapat menghasilkan stabilitas yang baik jika terjadi perubahan beban. Kecepatan putaran generator sangat dipengaruhi oleh frekuensi dan tegangan. Sedangkan kecepatan putar generator disebabkan oleh adanya perubahan beban yang berubah secara terus-menerus. Dalam pengujian *close loop system* ini sudah sesuai dengan nilai set point yang diinginkan yaitu 3000 RPM dan respon mencapai keadaan *steady*. Walaupun dilakukan variasi beban secara terus-menerus sistem akan tetap mempertahankan set point.. Sedangkan pada pengujian respon *open loop* menunjukkan bahwa sistem tidak dapat mencapai set point. Hal ini disebabkan karena sistem tidak dilengkapi dengan kontrol. Sehingga nilai PV tidak sama dengan nilai SV. Hal ini membuktikan bahwa apabila sistem diberi tegangan yang berbeda-beda secara terus-menerus maka RPM atau kecepatan putaran juga berbeda-beda. Dari hasil simulasi didapatkan

nilai *maximum overshoot* 8,6%, *delay time* 0,1 sekon, *rise time* 0,4 sekon, *peak time* 0,8 sekon dan *settling time* 4 sekon Dengan parameter PID yang didapatkan pada sistem kecepatan putaran genset yaitu untuk  $K_p=1,4$ ,  $K_i=1,3$  dan  $K_d=0,12$ . Sedangkan untuk validasi pemodelan di dapatkan *error* sebesar 0,25%.

**Kata kunci : Kecepatan Putaran, Generator Set, Biogas, Kontrol PID, Respon.**



# ***DESIGN OF SPEED CONTROL SYSTEM IN BIOGAS FUEL GENERATOR SET BY USING PID CONTROL METHOD***

***Student Name : Farida Iasha***  
***NRP : 02311645000006***  
***Study Program : Engineering Physic***  
***Major : Engineering Physic FTI-ITS***  
***Advisor Lecturer : Dr.Bambang Lelono Widjiantoro,S.T.,M .T. Arief Abdurrahman, S.T., M.T.***

## ***Abstract***

*The most human form of energy today is electricity. While one of the fuels capable of producing electricity is biogas. Biogas produced by cattle farmers has great potential in Indonesia. However, from the electricity sector the generator set output still cannot produce good stability if there is a change in load. The speed of rotation of the generator is strongly influenced by frequency and voltage. While the rotating speed of the generator is caused by changes in the load that changes continuously. In testing the close loop system is in accordance with the desired set point value of 3000 RPM and the response reaches a steady state. Even though a continuous load variation is carried out the system will still maintain the set point. While the open loop response test shows that the system is not can reach set point. This is because the system is not controlled by the control. The PV value is not equal to the SV value. This proves that if the system is given a different voltage continuously, the RPM or rotation speed also varies. From the simulation results, the maximum overshoot value is 8.6%, 0.1 second delay time, 0.4 second rise time, 0.8 second peak time and 4 second settling time. With the PID parameter obtained at the generator speed rotation system, that is for  $K_p = 1.4$ ,  $K_i = 1.3$  and  $K_d = 0.12$ . As for modeling validation, get an error of 0.25%.*

***Keyword : Control Rotation, Generator Set, Biogas, PID Control , Responce system.***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT penulis panjatkan karena atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Perancangan Sistem Pengendalian Kecepatan Putaran Pada Generator Set Bahan Bakar Biogas Dengan Menggunakan Metode Kontrol PID”** dengan tepat waktu. Laporan ini dapat terselesaikan dengan dukungan dan peran serta dari berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Keluarga penulis yang selalu mendukung dan memberikan semangat untuk belajar.
2. Agus Muhamad Hatta, ST., M.Si., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS.
3. Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T selaku pembimbing Tugas Akhir yang telah membina dan memberikan banyak ilmu serta pengalaman.
4. Arief Abdurrahman, S.T., M.T. selaku pembimbing Tugas Akhir yang telah membina dan memberikan banyak ilmu serta pengalaman.
5. Agus Muhamad Hatta, ST., M.Si., Ph.D selaku dosen wali penulis.
6. Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua laboratorium rekayasa instrumentasi dan kontrol
7. Biogas team yang telah berjuang bersama dalam pengerjaan tugas akhir.
8. Teman – teman lintas jalur teknik fisika FTI-ITS angkatan 2016.
9. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih kurang sempurna. Oleh karena itu, penulis menerima segala masukan berupa saran, kritik, dan segala bentuk tegur sapa demi kesempurnaan laporan ini.

Demikian laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan dengan harapan dapat bermanfaat dalam akademik baik bagi penulis maupun bagi pembaca.

Surabaya, 27 Juli 2018

Farida Iasha

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN I</b>	iv
<b>LEMBAR PENGESAHAN II</b>	v
<b>ABSTRAK</b>	vi
<b>ABSTRACT</b>	viii
<b>KATA PENGANTAR</b>	ix
<b>DAFTAR ISI</b>	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b>	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat	4
<b>BAB II TEORI PENUNJANG</b>	
2.1. <i>Sprak ignition Engine</i>	5
2.2. Biogas	7
2.3. <i>Proportional Integral Derifatif</i>	11
2.4. <i>Flowmeter (MF5706)</i>	17
2.5. <i>Sensor RPM (Autonic Rotary Encorder )</i>	19
2.6. <i>Generator Set</i>	20
2.7. <i>Motor Servo (Aktuator )</i>	21
2.8. Persamaan Stoikiometri	23
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1. Alur Penelitian	25
3.2. Pengambilan Data	26
3.3. Kandungan Biogas	26
3.4. Persamaan Stoikiometri Antara Udara dan Bahan Bakar Biogas ( $C_6H_{10}O_2$ )	28
3.5. Persamaan Hubungan Antara Daya dan Mass Flow Rate Bahan Bakar	29

3.6. Pemodelan Matematis	29
3.7. Perancangan Sistem Pengendalian Kecepatan Generator Set Bahan Bakar Biogas	34
3.8. Pembuatan Simulasi Menggunakan Matlab 2013b	35
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1. Pengujian <i>Control Valve (Servo Mg996R)</i>	37
4.2. Pengujian <i>Sensor RPM (Rotary Encoder E40)</i>	39
4.3. Pengujian Metode Kontrol	42
4.4. Pengujian <i>Open Loop System</i>	43
4.5. Pengujian <i>Close Loop System</i>	47
4.6. Pengujian Dengan <i>Tracking Set Point</i>	49
4.7. Pengujian Sistem Kontrol Kecepatan Putaran Dengan Perubahan Beban	50
4.8. Pengujian <i>Open Loop System</i> untuk masing-masing Beban	56
4.9. Hubungan antara RPM dan Variasi Beban	58
4.10. Respon Perubahan Te dan Arus Beban Lampu	59
4.11. Validasi Pemodelan	59
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1. Kesimpulan	63
5.2. Saran	64
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN A AKTUATOR SERVO</b>	
<b>LAMPIRAN B SENSOR</b>	
<b>LAMPIRAN C SIMULINK</b>	
<b>LAMPIRAN D RESPON VARIASI BEBAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1.</b> Siklus Kerja Mesin 4 Langkah	5
<b>Gambar 2.2.</b> Diagram P-V Siklus Otto	5
<b>Gambar 2.3.</b> <i>Plant Biogas</i>	8
<b>Gambar 2.4.</b> Diagram <i>Block Control Proportional</i>	11
<b>Gambar 2.5.</b> <i>Proportional Band</i>	12
<b>Gambar 2.6.</b> Diagram <i>Block Control Integral</i>	13
<b>Gambar 2.7.</b> Perubahan Keluaran Sebagai Akibat Penguatan dan Kesalahan	14
<b>Gambar 2.8.</b> Kontrol Derivatif	15
<b>Gambar 2.9.</b> Kurva Waktu Hubungan Input-Output Pengontrol <i>Derivative</i>	15
<b>Gambar 2.10.</b> Blok Diagram Kontrol PID	16
<b>Gambar 2.11.</b> Hubungan Dalam Fungsi Waktu Antara Sinyal Keluaran Dengan Masukan Untuk Pengontrol PID	17
<b>Gambar 2.12.</b> <i>Flowmeter</i> MF5706	18
<b>Gambar 2.13.</b> Sensor RPM ( <i>Rotary Encoder E40</i> )	20
<b>Gambar 2.14.</b> <i>Generator Set</i>	22
<b>Gambar 2.15.</b> Motor Servo MG996	23
<b>Gambar 3.1.</b> <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian	25
<b>Gambar 3.2.</b> Diagram Blok Sistem Pengendalian Kecepatan Putaran Generator Set	34
<b>Gambar 3.3.</b> Desain Sistem Keseluruhan pada Generator Set <i>Dual Fuel</i> ( Bensin dan Biogas)	36
<b>Gambar 4.1.</b> Hasil Pengujian <i>Control Valve</i> Sinyal Input 0 volt	38
<b>Gambar 4.2.</b> Hasil Pengujian <i>Control Valve</i> Sinyal Input 3 volt	38
<b>Gambar 4.3.</b> Hasil Pengujian <i>Control Valve</i> Sinyal Input 5 volt	39
<b>Gambar 4.4.</b> Hasil Pengujian Sensor 0 RPM	40
<b>Gambar 4.5.</b> Hasil Pengujian Sensor 3000 RPM	41
<b>Gambar 4.6.</b> Hasil Pengujian Sensor 5000 RPM	41
<b>Gambar 4.7.</b> Respon Sistem Dengan Variasi Metode Kontrol	42

<b>Gambar 4.9.</b> Respon <i>close loop</i> dengan <i>control</i> PID	43
<b>Gambar 4.9.</b> Respon Pengujian <i>Open Loop</i> Tegangan 1 Volt	44
<b>Gambar 4.10.</b> Respon Pengujian <i>Open Loop</i> Tegangan 3 Volt	44
<b>Gambar 4.11.</b> Respon Pengujian <i>Open Loop</i> Tegangan 5 Volt	45
<b>Gambar 4.12.</b> Hubungan antara Tegangan dan Kecepatan Putaran pada <i>open loop system</i>	47
<b>Gambar 4.13.</b> Respon <i>Close Loop System</i>	47
<b>Gambar 4.14.</b> Hubungan antara Variasi beban dengan Kecepatan Putaran pada <i>close loop system</i>	49
<b>Gambar 4.15.</b> <i>Tracking Set Point</i>	49
<b>Gambar 4.16.</b> Respon Pengujian <i>Open Loop System</i> untuk Input 5 Volt	51
<b>Gambar 4.17.</b> Hubungan antara Beban Lampu dan Kecepatan Putaran Tegangan 5 Volt	52
<b>Gambar 4.18.</b> Respon Pengujian <i>Open Loop System</i> untuk Input 3 Volt	52
<b>Gambar 4.19.</b> Hubungan antara Beban Lampu dan Kecepatan Putaran Tegangan 3 Volt	53
<b>Gambar 4.20.</b> Respon pengujian <i>open loop system</i> untuk input 1 volt dengan Variasi Beban	54
<b>Gambar 4.21.</b> Hubungan antara Beban Lampu dan Kecepatan Putaran Tegangan 1 Volt	55
<b>Gambar 4.22.</b> Respon Pengujian <i>Open Loop System</i> untuk Beban 100 Watt dengan Arus 0,45 Ampere	57
<b>Gambar 4.23.</b> Respon Pengujian <i>Open Loop System</i> untuk Beban 200 Watt dengan Arus 0,9 Ampere	57
<b>Gambar 4.24.</b> Grafik Hubungan antara Variasi Beban dan RPM yang dihasilkan	58
<b>Gambar 4.25.</b> Grafik Hubungan antara Variasi Beban, RPM pada Simulasi dan RPM pada Real Plant	59
<b>Gambar 4.26.</b> Grafik <i>Error</i> yang dihasilkan	61

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Komposisi Biogas	8
<b>Tabel 2.2</b> Spesifikasi <i>Flowmeter</i> Gas	18
<b>Tabel 3.1</b> Spesifikasi Unsur-Unsur Dasar Kimia	27
<b>Tabel 3.2</b> Jumlah Massa Unsur C dan H <sub>2</sub> pada Biogas	27
<b>Tabel 3.3</b> <i>Engine</i> Parameter	33
<b>Tabel 4.1</b> Hubungan antara Tegangan dan Kecepatan Putaran pada <i>Open Loop System</i>	46
<b>Tabel 4.2</b> Parameter respon untuk variasi beban pada <i>close loop system</i>	48
<b>Tabel 4.3</b> Nilai Ampere dengan Perubahan Beban yang Bervariasi	50
<b>Tabel 4.4</b> Hubungan antara beban lampu dan kecepatan Putaran tegangan 5 volt	51
<b>Tabel 4.5</b> Hubungan antara beban lampu dan kecepatan Putaran tegangan 3 volt	53
<b>Tabel 4.6</b> Hubungan antara beban lampu dan kecepatan Putaran tegangan 1 volt	54
<b>Tabel 4.7</b> Variasi Beban dan RPM yang dihasilkan	58
<b>Tabel 4.8</b> Validasi RPM Simulasi dan RPM Plant	60
<b>Tabel 4.9</b> Hasil Perhitungan Nilai Error	61



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Bentuk energi yang paling dibutuhkan manusia saat ini adalah energi listrik. Sedangkan salah satu bahan bakar yang mampu menghasilkan listrik adalah biogas. Biogas yang dihasilkan oleh peternak sapi memiliki potensi yang besar di Indonesia. Pada skala nasional, wilayah Jawa Timur menduduki posisi pertama untuk jumlah populasi sapi perah, sehingga secara linier terdapat juga lokasi peternakan sapi yang lebih banyak daripada provinsi yang lain. Di wilayah Nongkojajar, Pasuruan, merupakan salah satu penyumbang reaktor terbesar di Jawa Timur, dan di daerah tersebut komposisi biogasnya masih mengandung gas polutan berupa  $\text{CO}_2$  sebesar 26,93% dan  $\text{H}_2\text{S}$  sebesar 41,76 ppm[1].

Pada daerah tersebut telah dibuat alat yang memiliki efisiensi reduksi kadar  $\text{H}_2\text{S}$  dalam biogas mencapai 98,24%, yang kandungan awal  $\text{H}_2\text{S}$  rata-rata sebesar 40,99 ppm tereduksi hingga 0,7 ppm dan efisiensi reduksi  $\text{CO}_2$  mencapai 20,68% [2]. Faktanya jumlah sapi perah yang ada, wilayah tersebut memiliki potensi energi listrik sebesar 17.155 KWh per hari melalui sebuah instalasi biogas yang dilengkapi dengan sebuah generator biogas. Pemanfaatan biogas sebagai pembangkit listrik di wilayah tersebut masih kurang dimanfaatkan secara optimal, hal ini disebabkan karena tidak adanya sistem purifikasi pada biogas. Selain itu pengetahuan mengenai kebutuhan supply bahan bakaar pada *generator set* itu sendiri masih sangat rendah dan pada sektor kelistrikan output *generator set* masih belum stabil. Ketidakstabilan *generator set* ini disebabkan oleh perubahan beban secara terus-menerus sehingga pemanfaatan biogas sebagai pembangkit listrik belum dapat dilakukan secara optimal.

Dengan adanya proses purifikasi yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya oleh Arief Abdurrahman, maka pengimplementasian bahan bakar biogas pada *generator set* sudah dapat dilakukan, sebab kadar  $\text{H}_2\text{S}$  serta  $\text{CO}_2$  sudah tereduksi secara optimal. Namun dari sektor kelistrikan *output generator*

*set* masih belum dapat menghasilkan stabilitas yang baik jika terjadi perubahan beban.

Kecepatan putar generator sangat mempengaruhi frekuensi dan tegangan listrik yang dihasilkan oleh *generator set*. Sedangkan kecepatan putar generator disebabkan oleh adanya perubahan beban yang berubah secara terus-menerus. Dapat dicontohkan ketika malam hari biasanya lampu rumah dimatikan hal ini menyebabkan beban menjadi turun sedangkan kecepatan putaran berputar lebih cepat. Akibatnya frekuensi dan tegangan listrik akan naik dan bila terlalu tinggi akan merusak alat-alat elektronik yang digunakan di rumah-rumah. Maka dalam hal ini suatu kontrol kecepatan putaran pada generator sangat berpengaruh untuk menjaga kestabilan frekuensi dan tegangan.

Seperti penelitian yang dilakukan oleh Sri Sadono, Sihana, dan Nazrul Effendy, yang menjaga nilai *set point* yang dikehendaki sebesar 3000 RPM agar listrik AC yang dihasilkan oleh *generator* tetap pada frekuensi 50 Hz dengan menggunakan kontroler PID. Penelitian yang dilakukan oleh Hardiansyah, Eka Firmansyah, dan M Isnaini BS, didapatkan bahwa perubahan beban mengakibatkan perubahan frekuensi dan tegangan, dimana perubahan frekuensi *proportional* dengan perubahan tegangan. Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Dwi Aji Saputro, dimana ketika beban semakin besar maka drop tegangan akan semakin besar sehingga teganganya akan semakin turun. Sama halnya dengan kecepatan putar juga mengalami penurunan, maka frekuensi pun akan mengalami penurunan. Maka dari itu pada penelitian ini dilakukan pengendalian kecepatan putaran yang dikontrol dengan nilai *set point* RPM tertentu yang didapatkan pada saat proses pengujian yang dilakukan dengan cara memberi variasi ada beban sehingga menghasilkan nilai tegangan dan frekuensi sesuai standar PLN (220 V dan 50 Hz) [2].

Pada sistem kontrol kecepatan ini akan dilakukan beberapa pengujian metode kontrol. Hal ini dilakukan agar dapat ditemukan metode kontrol yang menghasilkan reson yang stabil dan memiliki parameter-parameter kontrol dengan waktu yang cepat. Kemudian setelah mendapatkan metode kontrol yang

sesuai maka akan dilakukan variasi perubahan beban pada sistem kontrol kecepatan *close loop*. Karena apabila sistem kontrol kecepatan putaran ini berhasil maka apabila sistem diberi variasi beban yang berbeda-beda maka sistem akan mendapatkan *pv* yang sesuai dengan set point nya. Maka dari itu, dalam Proyek Akhir ini akan membuat **“Perancangan Sistem Pengendalian Kecepatan Putaran Pada Generator Set Bahan Bakar Biogas Dengan Menggunakan Metode Kontrol PID”** yang diharapkan akan terjaganya stabilitas dari generator seperti frekuensi dan tegangan, sehingga dalam pengolahan biogas ini dapat menunjukkan *output* yang sebenarnya sesuai dengan perubahan beban.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan yang terdapat pada tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang sistem pengendalian kecepatan putaran pada *generator set* bahan bakar biogas ?
2. Bagaimana respon sistem pengendalian kecepatan putaran dan pengaruh beban terhadap sistem?

## 1.3. Tujuan

Berdasarkan permasalahan yang ada didapatkan, tujuan dari tugas akhir ini yaitu :

1. Merancang sistem pengendalian kecepatan putaran pada *generator set* bahan bakar biogas.
2. Mengetahui respon sistem pengendalian kecepatan putaran dan pengaruh beban terhadap sistem.

## 1.4. Batasan Masalah

Adapun batas ruang lingkup dari penelitian tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Kandungan metan dalam biogas diasumsikan sebesar 60% - 65%.
2. Aliran fluida dalam pipa biogas dianggap ideal.

3. Bahan bakar yang digunakan adalah biogas dan udara sebagai campuran bahan bakar agar terjadi pembakaran sempurna.
4. Pada tugas akhir ini difokuskan untuk mendapatkan sistem kontrol kecepatan putaran yang stabil.
5. Performansi *generator set* yang dikendalikan hanya kecepatan putaran.

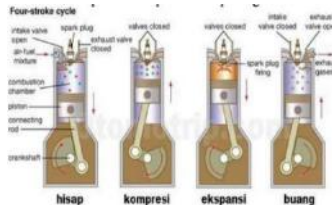
### **1.5. Manfaat**

Manfaat dari tugas akhir ini adalah sebagai sistem kontrol kecepatan putaran *generator set* dengan bahan bakar biogas dan udara sebagai campurannya. Dengan kontrol kecepatan putaran ini diharapkan sistem akan tetap stabil walaupun terjadi variasi perubahan beban secara terus menerus.

## BAB II TEORI PENUNJANG

### 2.1. *Spark Ignition Engine*

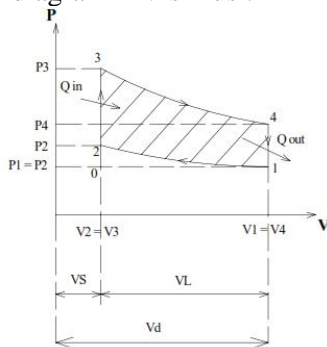
*Spark ignition Engine* adalah salah satu jenis mesin bakar yang membutuhkan pemicu berupa percikan bunga api untuk membakar campuran bahan bakar dan udara dalam ruang bakarnya.



**Gambar 2.1** Siklus Kerja Mesin 4 Langkah[6]

Pada gambar 2.1 merupakan siklus kerja mesin 4 langkah yang terdiri dari siklus hisap (*intake*), siklus kompresi (*compression*), siklus pembakaran (*combustion*) atau siklus kerja (*power*), dan siklus buang (*exhaust*). Energi yang dihasilkan oleh reaksi pembakaran akan menyebabkan piston terdorong dan memutar poros mesin.[6]

Berikut merupakan diagram P-V siklus :



**Gambar 2.2** Diagram P-V Siklus Otto[6]

Pada gambar 2.2 merupakan diagram P-V siklus otto . Pada diagram menjelaskan proses – proses yang terjadi diantaranya sebagai berikut :

- a. Proses (0 – 1)  
Proses ini disebut sebagai langkah isap (udara murni) pada tekanan konstan. Pada langkah isap, piston akan bergerak dari TMA menuju TMB.
- b. Proses (1 – 2)  
Proses ini disebut sebagai langkah kompresi isentropik. Pada langkah kompresi ini, kedua katup (katup masuk dan katup buang) dalam keadaan tertutup.
- c. Proses (2 – 3)  
Pada proses ini terjadi proses pembakaran (pemasukan kalor pada volume konstan). Pada proses ini kedua katup tertutup. Piston berada di TMA dan loncatan api busi yang bereaksi dengan campuran udara dan bahan bakar yang bertekanan tinggi akan menimbulkan pembakaran.
- d. Proses (3 – 4)  
Proses ini disebut sebagai langkah ekspansi (kerja). Pada langkah kerja loncatan api busi yang bereaksi dengan campuran bahan bakar dan udara bertekanan tinggi akan menimbulkan letusan. Letusan ini akan menghasilkan tenaga yang mendorong piston bergerak turun menuju TMB. Tenaga yang dihasilkan oleh langkah kerja diteruskan oleh poros engkol untuk menggerakkan gigi transmisi yang menggerakkan *gear* depan.
- e. Proses (4 – 1)  
Proses ini disebut sebagai proses pembuangan (pengeluaran kalor) pada volume konstan. Pada proses

ini katup isap tertutup dan katup buang terbuka. Posisi piston berada di TMB.

f. Proses (4 – 1)

Proses ini disebut sebagai langkah buang pada tekanan konstan. Pada langkah pembuangan, piston bergerak naik dari TMB menuju TMA. Katup masuk dalam keadaan tertutup dan katup buang dalam keadaan terbuka. Gas sisa hasil pembakaran terdorong keluar menuju saluran pembuangan. Dengan terbuangnya gas sisa pembakaran, berarti kerja dari langkah – langkah mesin untuk satu kali proses kerja (siklus) telah selesai.

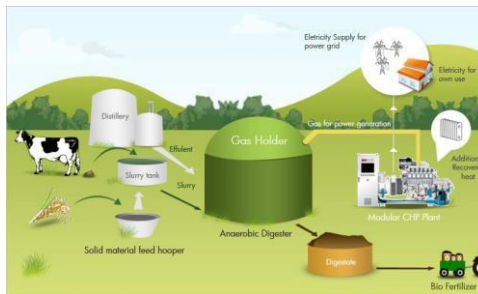
Secara umum terdapat 4 macam nilai *lamda* ( $\lambda$ ) yang dihasilkan pada proses pembakaran *Spark Ignition Engine* yaitu :

- a.  $\lambda = 1$  yaitu massa udara yang dicampur pada bahan bakar sesuai dengan teori.
- b.  $\lambda < 1$  yaitu kondisi dimana massa udara yang dicampurkan dengan bahan bakar lebih sedikit dibandingkan kondisi *stoichiometric* atau biasa disebut campuran kaya.
- c.  $\lambda > 1$  yaitu kondisi dimana massa udara yang dicampurkan dengan bahan bakar lebih banyak dibandingkan dengan kondisi *stoichiometric* atau biasa disebut campuran miskin.
- d.  $\lambda > 1,5$  yaitu campuran bahan bakar dan udara tidak dapat dibakar dengan sempurna, kondisi ini dapat mengakibatkan mesin tersendat-sendat[6].

## 2.2 Biogas

Biogas mulai dikembangkan sejak abad 17 tepatnya di negara Perancis. Biogas sendiri merupakan gas yang dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan organik dalam kondisi anaerobik atau bisa disebut minim oksigen. Bahan-bahan organik tersebut antara lain dapat berupa daun-daun yang telah membusuk, kotoran

manusia, kotoran ternak dan masih banyak lagi selama masih tergolong bahan organik. Akan tetapi kotoran manusia sangat sulit untuk dijadikan biogas karena manusia merupakan makhluk yang memakan segala macam makanan tidak hanya satu jenis makanan saja. Di Indonesia bahan organik untuk biogas yang paling banyak digunakan adalah dari kotoran hewan karena masih banyaknya peternakan. Selain itu sebab lain di Indonesia menggunakan kotoran ternak. Ternak disini merupakan makhluk yang hanya memakan satu jenis makanan saja seperti tumbuh-tumbuhan. Sehingga potensi peternakan di Indonesia selain untuk kebutuhan pangan, juga bisa untuk pengembangan sumber daya terbarukan seperti biogas .[8]



**Gambar 2.3** *Plant Biogas*[8]

**Tabel 2.1** Komposisi Biogas

No.	Gas	Range
1.	Metana (CH <sub>4</sub> )	54-70
2.	Karbondioksida(CO <sub>2</sub> )	27-35
3.	Nitrogen (N <sub>2</sub> )	0.5-20
4.	Hidrogen (H <sub>2</sub> )	-
5.	Karbon Monoksida (CO)	0.1
6.	Hidrogen Sulfida (H <sub>2</sub> S)	kecil



Biogas merupakan gas yang sangat mudah terbakar. Unsur-unsur utama biogas diantaranya metana ( $\text{CH}_4$ ), karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), beberapa unsur lain seperti amonia ( $\text{NH}_3$ ), hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ), karbon monoksida ( $\text{CO}$ ), hidrogen ( $\text{H}_2$ ), nitrogen ( $\text{N}_2$ ), dan oksigen ( $\text{O}_2$ ). Komposisi biogas yang dihasilkan dari pencernaan anaerobik biasanya sekitar 60 - 70 %  $\text{CH}_4$ , sekitar 30 - 40%  $\text{CO}_2$ , kurang dari 1%  $\text{N}_2$ , dan sekitar 10 - 2000 ppm  $\text{H}_2\text{S}$ . [11]

Biogas mudah terbakar karena kandungan gas metana didalamnya. Gas metana memiliki nilai kalor yang tinggi. Untuk gas metan murni 100% maka nilai kalor adalah  $8900 \text{ Kkal/m}^3$ . Ketika dibakar  $1 \text{ ft}^3$  gas bio menghasilkan sekitar 10 BTU ( $2,52 \text{ Kkal}$ ) energi panas per persentase komposisi metan. [8]

Biogas memiliki berbagai keunggulan dibanding dengan bahan bakar lain. Biogas lebih ramah lingkungan karena tidak seperti bahan bakar dari fosil yang jika dilakukan pembakaran menghasilkan gas  $\text{CO}_2$ . Sampah-sampah organik yang dibiarkan membusuk bisa menjadi gas metana yang berbahaya jika langsung lepas ke udara sehingga dengan pemanfaatannya sebagai biogas bisa menekan polusi udara yang ditimbulkan oleh gas metana. Selain itu dengan memanfaatkan kotoran hewan peternakan sebagai biogas, otomatis dapat menambah penghasilan para peternak atau bisa mensejahterakan hidup para peternak dengan memanfaatkan biogas tersebut sendiri.

Penerapan biogas sebagai bahan bakar motor bensin biogas di dunia internasional telah banyak dikembangkan khususnya sebagai bahan bakar dalam motor bakar baik bensin maupun diesel. Pada umumnya penerapan biogas cenderung menggunakan motor diesel dibandingkan motor bensin, namun penerapan biogas relatif lebih mudah dikembangkan pada motor bensin karena pengubahan dari kontruksi standar tidak banyak. Pada dasarnya modifikasi pada motor bakar dilakukan pada bagian pencampuran bahan bakar dan udara, bagian rasio kompresi, dan sistem pengapian. Pencampuran bahan bakar dan udara dilakukan dengan menyesuaikan nilai perbandingan stoikiometri dari proses pembakaran udara dan biogas. Rasio kompresi pada motor bensin yang diterapkan bahan bakar biogas perlu dilakukannya modifikasi kontruksi dari rasio

kompresi standar. Rasio kompresi yang diubah menyesuaikan sifat bahan bakar biogas. Perubahan rasio kompresi yang digunakan diantara 10-12. [8]

Kecepatan pembakaran biogas adalah 290 m/s. Kemampubakarannya adalah 4% hingga 14%. Dua hal ini menjadikan biogas dapat memiliki efisiensi pembakaran yang tinggi. Biogas memiliki angka oktan yang tinggi yaitu 130. Sebagai perbandingan bensin memiliki angka oktan 90 hingga 94, sementara alkohol terbaik hanya 105 saja. Nilai oktan sangat mempengaruhi dalam peningkatan rasio kompresi pada motor bensin. [8]

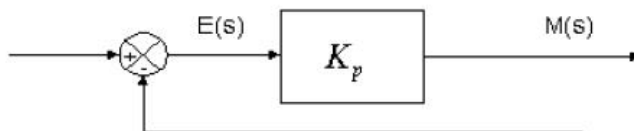
Penelitian biogas sebagai bahan bakar motor bensin pernah dilakukan oleh Hery AF, Septiropa Z, dan Romadhi F di Indonesia pada penelitian dengan judul “Penerapan Bahan Bakar Biogas Sebagai Bahan Bakar Motor Bensin 1 Silinder 4 Langkah” tahun 2011. Kegiatan penelitian tersebut telah dilakukan pembuatan proses pencampuran udara dan bahan bakar dengan pipa T yang dihubungkan langsung ke lubang pemasukan (*intake manifold*) kepala silinder, tidak menggunakan karburator. Bahan bakar biogas dialirkan dari digester melalui selang dengan bantuan blower untuk menghisap hingga masuk ke dalam *intake manifold* motor bensin. Pada ruang pembakaran perbandingan 1:2 lubang pemasukan reaktor biogas biogas proses fermentasi  $\text{CH}_4 + \text{CO}_2$  limbah biogas bahan bakar kompor, lampu petromak dan motor bakar material pupuk organik (pupuk cair dan padat) dilakukannya perubahan rasio kompresi. Hasil penelitian mengatakan bahwa motor bensin dapat menggunakan bahan bakar biogas sebagai bahan bakar dengan penambahan regulator sederhana untuk biogas dan *mixer udara - biogas*, sekalipun kineja maksimal belum dapat diperoleh. Mesin dapat dihidupkan menggunakan biogas dengan kandungan metana 56–60%. Mesin atau motor bakar berbahan bakar biogas yang dipergunakan dalam percobaan dapat menghasilkan listrik untuk menghidupkan lampu hingga 250 Watt.

## 2.3 *Proportional Integral Derivative*

Didalam suatu sistem kontrol kita mengenal adanya beberapa macam aksi kontrol diantaranya yaitu aksi kontrol proporsional, aksi kontrol integral dan aksi kontrol *derivative*. Masing-masing aksi kontrol ini mempunyai keunggulan masing-masing. Aksi kontrol proporsional mempunyai keunggulan *rise time* yang cepat, aksi kontrol integral mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error* dan aksi kontrol *derivative* mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error* atau meredam *overshot/undershot*. Untuk itu agar dapat menghasilkan output dengan *rise time* yang cepat dan *error* yang kecil dapat digabungkan antara ketiga aksi kontrol ini menjadi aksi kontrol PID. Parameter pengontrol *proportional integral derivative* (PID) selalu didasari atas tinjauan terhadap karakteristik yang di atur *plant*. Dengan demikian walaupun suatu *plant* dianggap rumit maka perlu diketahui terlebih dahulu *plant* tersebut dalam pencarian parameter PID. [3]

### 2.3.1 Pengontrol *Proportional*

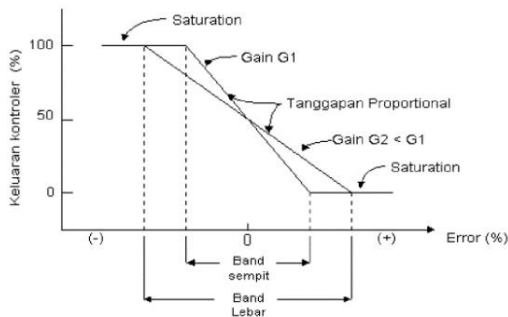
Pengontrol proposional memiliki keluaran yang sebanding atau proposional dengan besarnya sinyal kesalahan yaitu selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya. Secara lebih sederhana dapat dikatakan bahwa keluaran pengontrol proporsional merupakan perkalian antara konstanta proposional dengan masukannya. Perubahan pada sinyal masukan akan segera menyebabkan sistem secara langsung mengeluarkan output sinyal sebesar konstanta pengalinya. [3]



**Gambar 2.4** Diagram Blok Control Proportional [3]

Blok diagram yang menggambarkan hubungan antara besaran setting, besaran aktual dan besaran keluaran

pengontrol proporsional. Sinyal kesalahan (*error*) merupakan selisih antara besaran *setting* dengan besaran aktualnya. Selisih ini akan mempengaruhi pengontrol, untuk mengeluarkan sinyal positif dalam mempercepat pencapaian harga setting atau negatif dalam memperlambat tercapainya harga yang diinginkan. Pengontrol proposional memiliki 2 parameter yaitu pita proposional (*propotional band*) dan *konstanta proporsional*. Daerah kerja kontroler efektif dicerminkan oleh pita proporsional sedangkan konstanta proporsional menunjukkan nilai faktor penguatan sinyal terhadap sinyal kesalahan  $K_p$ . Hubungan antara pita proporsional (PB) dengan konstanta proporsional ( $K_p$ ). [3]



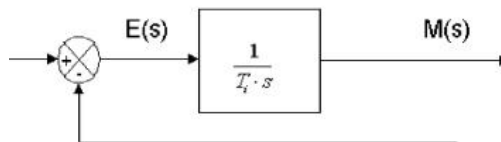
**Gambar 2.5** Proportional band [3]

Ciri-ciri pengontrol proposional harus diperhatikan ketika pengontrol tersebut diterapkan pada suatu sistem. Secara eksperimen, pengguna pengontrol propoisional harus memperhatikan ketentuan-ketentuan berikut ini :

- kalau nilai  $K_p$  kecil berarti pengontrol proposional hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil sehingga akan menghasilkan respon sistem yang lambat.
- kalau nilai  $K_p$  dinaikan maka respon sistem menunjukkan semakin cepat mencapai set point dan keadaan stabil.
- namun jika nilai  $K_p$  diperbesar sehingga mencapai harga yang berlebihan maka akan mengakibatkan sistem bekerja tidak stabil atau respon sistem akan berosolasi.

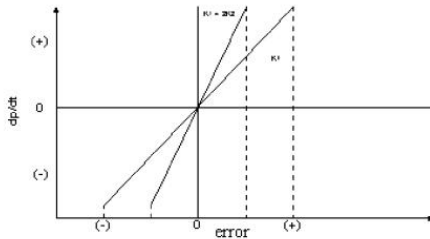
### 2.3.2 Pengontrol *Integral*

Pengontrol *integral* berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan stabil nol. Jika sebuah plant tidak memiliki unsur integrator ( $1/S$ ) maka pengontrol proposional tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan stabilnya nol. Dengan pengontrol integral maka respon sistem dapat diperbaiki yaitu mempunyai kesalahan keadaan stabilnya nol. Pengontrol integral memiliki karakteristik seperti halnya sebuah integral. Keluaran sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Keluaran pengontrol ini merupakan penjumlahan yang terus menerus dari perubahan masukannya. Kalau sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan maka keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan. Sinyal keluaran pengontrol integral merupakan luas bidang yang dibentuk oleh kurva kesalahan penggerak. Sinyal keluaran akan berharga sama dengan harga sebelumnya ketika sinyal kesalahan berharga nol.



**Gambar 2.6** Diagram *blok control* Integral [3]

Ketika sinyal kesalahan berlipat ganda, maka nilai laju perubahan keluaran pengontrol berubah menjadi dua kali dari semula. Jika nilai konstanta integrator berubah menjadi lebih besar maka sinyal kesalahan yang relatif kecil dapat mengakibatkan laju keluaran menjadi besar .



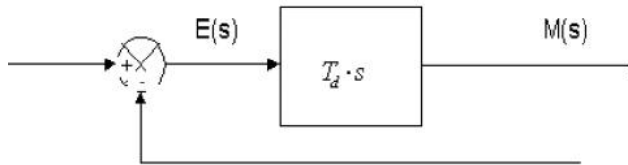
**Gambar 2.7** Perubahan keluaran sebagai akibat penguatan dan kesalahan [3]

Ketika digunakan pengontrol integral mempunyai beberapa karakteristik berikut ini:

1. keluaran pengontrol membutuhkan selang waktu tertentu sehingga pengontrol integral cenderung memperlambat respon.
2. ketika sinyal kesalahan berharga nol maka keluaran pengontrol akan bertahan pada nilai sebelumnya.
3. jika sinyal kesalahan tidak berharga nol maka keluaran akan menunjukkan kenaikan atau penurunan yang dipengaruhi oleh besarnya sinyal kesalahan dan nilai  $K_i$ .
4. konstanta integral  $K_i$  yang berharga besar akan mempercepat hilangnya *offset*. Tetapi semakin besar nilai konstanta  $K_i$  akan mengakibatkan peningkatan osilasi dari sinyal keluaran pengontrol.

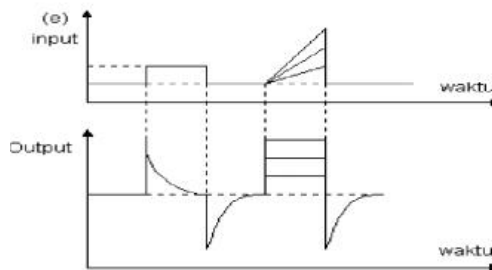
### 2.3.3 Pengontrol *Derivative*

Keluaran pengontrol *derivative* memiliki sifat seperti halnya suatu operasi *differensial*. Perubahan yang mendadak pada masukan pengontrol akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat.



**Gambar 2.8** Kontrol Derivatif [3]

Hubungan antara sinyal masukan dengan sinyal keluaran pengontrol *derivative*. Ketika masukannya tidak mengalami perubahan maka keluaran pengontrol juga tidak mengalami perubahan. Sedangkan apabila sinyal masukan berubah mendadak dan menaik (berbentuk fungsi step) maka keluaran menghasilkan sinyal berbentuk impuls. Jika sinyal masukan berubah naik secara perlahan (fungsi ramp) maka keluarannya justru merupakan fungsi step yang besar magnitudnya sangat dipengaruhi oleh kecepatan naik dari fungsi ramp dan faktor konstanta diferensialnya.



**Gambar 2.9** Kurva Waktu Hubungan Input-Output Pengontrol *Derivative* [12]

Karakteristik pengontrol *derivative* adalah sebagai berikut:

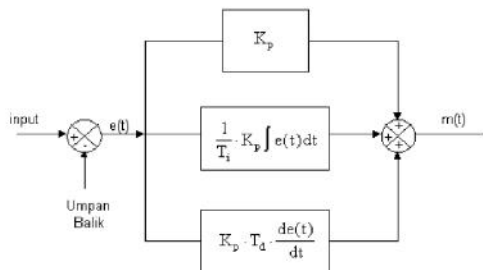
- a. pengontrol ini tidak dapat menghasilkan keluaran bila tidak ada perubahan pada masukannya (berupa sinyal kesalahan).
- b. jika sinyal kesalahan berubah terhadap waktu, maka keluaran yang dihasilkan pengontrol tergantung pada nilai  $T_d$  dan laju perubahan sinyal kesalahan.

- c. Pengontrol *derivative* mempunyai suatu karakter untuk mendahului sehingga pengontrol ini dapat menghasilkan koreksi yang signifikan sebelum pembangkit kesalahan menjadi sangat besar. Jadi pengontrol *derivative* dapat mengantisipasi kesalahan dan dapat memberikan aksi yang bersifat korektif secara teliti dan cenderung meningkatkan stabilitas sistem .

Berdasarkan karakteristik pengontrol tersebut, pengontrol *derivative* umumnya dipakai untuk mempercepat respon awal suatu sistem namun tidak memperkecil kesalahan pada keadaan stabilnya. Kerja pengontrol *derivative* hanyalah efektif pada lingkup yang sempit yaitu pada periode peralihan. Oleh sebab itu pengontrol *derivative* tidak pernah digunakan tanpa ada pengontrol lain sebuah sistem. [3]

#### 2.3.4 Pengontrol *PID*

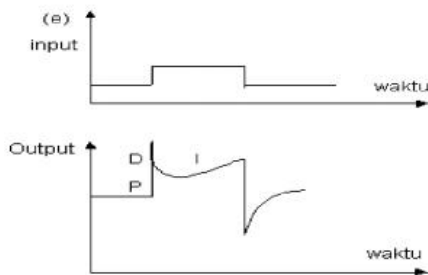
Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing pengontrol P, I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi pengontrol *proportional, integral, derivative* disebut pengontrol PID. Elemen-elemen pengontrol P, I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem dengan menghilangkan offset dan menghasilkan perubahan awal yang besar.



**Gambar 2.10** Blok diagram kontroler PID [3]



Karakteristik pengontrol PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besar dari ketiga parameter P, I dan D. Pengaturan konstanta  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$  akan menampilkan sifat dari masing-masing elemen. Satu atau dua dari ketiga konstanta tersebut dapat diatur lebih dominan dibanding yang lain. Konstanta yang dominan itu yang akan memberikan kontribusi pengaruh pada respon sistem secara keseluruhan



**Gambar 2.11** Hubungan dalam fungsi waktu antara sinyal keluaran dengan masukan untuk pengontrol PID[3]

Karakteristik pengontrol PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besar dari ketiga parameter P, I dan D. Pengaturan konstanta  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$ .

## 2.4 Flowmeter (MF5706)

*Flowmeter* merupakan suatu alat ukur yang digunakan untuk mengukur laju aliran atau jumlah suatu fluida yang bergerak mengalir dalam suatu pipa tertutup atau saluran. Jenis fluida yang melalui atau diukur oleh *flowmeter* bisa berupa cairan atau gas. Dalam aplikasinya penggunaan *flowmeter* dapat digunakan untuk mengukur aliran baik berupa kecepatan aliran, kapasitas aliran maupun volumenya atau beratnya fluida mempunyai aplikasi yang bermacam macam. Aplikasi penggunaan *flowmeter* tergantung pada tujuan, manfaat maupun kendala yang tergantung pada situasi yang dibutuhkan rekayasa sehingga pemasangan *flowmeter* tersebut sesuai dengan tujuan dan manfaatnya. Paling banyak *flow meter* digunakan untuk mengukur aliran air dan gas. Namun *flowmeter* yang digunakan pada tugas akhir ini adalah flowmeter

massa udara 25L / min dengan merk *flowmeter* MF5706. *Flowmeter* MF5706 memiliki daya ultra rendah yang efektif pada 4 baterai AA. Desain portabelnya memiliki adaptor mekanis yang dapat ditukar dengan baik dan data mudah diakses serta kemampuan yang dapat diprogram oleh pengguna. Penyimpanan data internal juga dapat membantu aplikasi aliran tujuan.



**Gambar 2.12** *Flowmeter* MF5706

Flowmeter yang digunakan adalah flowmeter bertipe MF5072 yang memiliki spesifikasi sebagai berikut :

**Tabel 2.2.** Spesifikasi *Flowmeter* Gas

<i>Flow Range</i>	0-25 L/Min
<i>Turn~down Ratio</i>	30:1
<i>Accuracy</i>	+ - (2.0 + 0,5 FS)%
<i>Repeatability</i>	0,2 %
<i>Response Time</i>	2 sec
<i>Power Supply</i>	4 AA battery
<i>Output</i>	RS 485 (optional)
<i>Display</i>	LCD
<i>Display Unit</i>	Instant flowrate : SLPM (L/Min)

## 2.5 Sensor RPM ( *Autonic Rotary Encoder* )

Sensor RPM diperlukan untuk mengetahui kecepatan poros. Perangkat yang digunakan untuk tujuan ini adalah *shaft encoders*, sensor kedekatan, dan fotolistrik sensor. Masing-masing perangkat ini mengirimkan data kecepatan dalam bentuk pulsa. Dua faktor yang dapat mempengaruhi kualitas data ini adalah sebagai berikut:

- a. Jumlah pulsa per putaran poros (disebut sebagai PPR). Nilai PPR yang lebih tinggi menghasilkan resolusi yang lebih baik.
- b. Simetri pulsa adalah simetri dari satu denyut nadi ke selanjutnya bisa berperan dalam seberapa konsisten RPM bacaannya. Pulsa simetris memberi lebih banyak data yang akurat.
- c. *Shaft encoders* adalah solusi terbaik untuk penginderaan alat yang dapat menawarkan resolusi tinggi (biasanya 1 sampai 5000 PPR) dan pulsa simetris yang jelas. Sensor kedekatan memberikan resolusi menengah atau rendah penginderaan tergantung dari jumlah pulsa yang diukur per revolusi. Penginderaan biasanya memiliki pilihan yaitu 60, 120, atau 240 PPR sedangkan pulsa relatif jelas dan *simetris*. Jika gigi tidak tersedia maka sensor jarak dapat digunakan untuk mengidentifikasi kepala baut yang menempel pada poros. Persamaan RPM sebagai berikut:

$$RPM = \frac{Pulse\ Frequency \cdot 60}{60} = Pulse\ Frequency \quad (2.6)$$

- a. Pada frekuensi pulsa 1 Hz, kecepatan poros adalah 1 RPM.
- b. Pada frekuensi pulsa 2 Hz, kecepatan poros adalah 2 RPM.
- c. Pada frekuensi pulsa 3 Hz, kecepatan poros adalah 3 RPM.

Ini berarti untuk setiap kenaikan 1 Hz, RPM indikasi akan berubah sebesar 1 RPM. Dengan sensor PPR 60, Resolusi kecepatan poros adalah 1 RPM.



**Gambar 2.13** Sensor RPM (Rotary Encoder E40)

## 2.6 Generator Set

*Generator set* adalah suatu mesin pembangkit listrik yang dapat merubah energi kimia pada bahan bakar ke bentuk energi listrik dan panas. Beberapa gabungan antara mesin, generator, dan kontroler disebut juga generator set yang biasa dikenal dengan genset. Dalam sebuah pembangkit, putaran *engine* harus konstan agar frekuensi yang dikeluarkan generator selalu konstan 50 Hz atau 60 Hz. Engine merubah campuran udara dan bahan bakar (energi kimia) kedalam energi mekanik. Kecepatan putar generator sinkron frekuensi listrik yang dihasilkan generator sinkron adalah sinkron dengan kecepatan putar generator. Rotor generator sinkron terdiri atas rangkaian elektromagnet dengan suplai arus DC. Oleh karena rotor berputar pada kecepatan yang sama dengan medan magnet, persamaan diatas juga menunjukkan hubungan antara kecepatan putar rotor dengan frekuensi listrik yang dihasilkan. Agar daya listrik dibangkitkan tetap pada frekuensi 50Hz atau 60 Hz, maka generator harus berputar pada kecepatan tetap dengan jumlah kutub mesin yang telah ditentukan. Sebagai contoh untuk membangkitkan 60 Hz pada mesin dua kutub, rotor arus berputar dengan kecepatan 3600 rpm. Untuk membangkitkan daya 50 Hz pada mesin empat kutub, rotor harus berputar pada 1500 rpm

### a. *Alternator* tanpa beban

Dengan memutar nya *alternator* pada kecepatan sinkron dan rotor diberi arus medan ( $I_f$ ), maka tegangan ( $E_a$ ) akan terinduksi pada kumparan jangkar stator. Bentuk hubungannya diperlihatkan pada persamaan berikut.

$$E_a = c \cdot n \cdot \text{fluks} \quad (2.1)$$

Keterangan:

$c$  = konstanta mesin

$n$  = putaran sinkron

$f$  = *fluks* yang dihasilkan oleh  $I_f$

Dalam keadaan tanpa beban arus jangkar tidak mengalir pada stator, karenanya tidak terdapat pengaruh reaksi jangkar. Fluks hanya dihasilkan oleh arus medan ( $I_f$ ).

#### b. Alternator Berbeban

Dalam keadaan berbeban arus jangkar akan mengalir dan mengakibatkan terjadinya reaksi jangkar. Reaksi jangkar bersifat reaktif karena itu dinyatakan sebagai reaktansi, dan disebut reaktansi magnetisasi ( $X_m$ ). Reaktansi pemagnet ( $X_m$ ) ini bersama-sama dengan reaktansi *fluks* bocor ( $X_a$ ) dikenal sebagai reaktansi *sinkron* ( $X_s$ ). Bila generator diberi beban yang berubah-ubah maka besarnya tegangan terminal  $V$  akan berubah-ubah pula. Hal ini disebabkan adanya kerugian tegangan pada resistansi jangkar ( $R_a$ ), reaktansi bocor jangkar ( $X$ ), dan reaksi jangkar ( $X_a$ )



**Gambar 2.14** *Generator Set* [10]

## 2.7 Motor Servo (Aktuator)

Motor servo merupakan perangkat yang terdiri dari motor DC, serangkaian gear, rangkaian kontrol dan potensiometer. Serangkaian gear yang melekat pada poros motor DC akan

memperlambat putaran poros dan meningkatkan torsi motor servo, sedangkan potensiometer dengan perubahan resistansinya saat motor berputar berfungsi sebagai penentu batas posisi putaran poros motor servo. Penggunaan sistem kontrol loop tertutup pada motor servo berguna untuk mengontrol gerakan dan posisi akhir dari poros motor servo. Posisi poros output akan dihasilkan oleh sensor untuk mengetahui posisi poros sudah tepat seperti yang diinginkan atau belum. Jika dalam keadaan belum maka kontrol input akan mengirim sinyal kendali untuk membuat posisi poros tersebut tepat pada posisi yang diinginkan. Motor servo biasa digunakan dalam aplikasi-aplikasi yang ada di industri. Selain itu motor digunakan dalam berbagai aplikasi lain seperti pada mobil mainan radio kontrol, robot, pesawat, dan lain sebagainya. Ada dua jenis motor servo yaitu motor servo AC dan DC.



**Gambar 2.15** Motor Servo MG996

Motor servo AC lebih dapat menangani arus yang tinggi atau beban berat, sehingga sering diaplikasikan pada mesin-mesin industri. Sedangkan motor servo DC biasanya lebih cocok untuk digunakan pada aplikasi-aplikasi yang lebih kecil. Dan bila dibedakan menurut rotasinya secara umum terdapat dua jenis motor servo yang terdapat di pasaran yaitu motor servo *rotation* 180° dan servo *rotation continuous* 360°. Motor servo standard (*servo rotation* 180°) adalah jenis yang paling umum dari motor servo yang memiliki putaran poros outputnya terbatas hanya 90° kearah kanan dan 90° kearah kiri. Dengan kata lain total putarannya hanya setengah lingkaran atau 180°. Sedangkan motor

*servo rotation continuous 360°* merupakan jenis motor servo yang sebenarnya sama dengan jenis servo *standard*, namun perputaran porosnya tanpa batasan atau dengan kata lain dapat berputar secara terus-menerus terus baik ke arah kanan maupun ke arah kiri. Pada alat aplikasi *accelerometer* pada penstabil *monopod* menggunakan motor servo dengan memanfaatkan motor servo DC karena penggunaannya yang praktis dan ditambah keunggulan dari fitur motor servo DC. Motor servo DC memiliki sistem umpan balik tertutup di mana posisi rotornya akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo. Motor ini terdiri dari sebuah motor DC, serangkaian gear, potensiometer, dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut dari putaran servo. Sedangkan sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor servo. Berikut merupakan keunggulan dari penggunaan motor servo diantaranya :

1. tidak bergetar dan tidak beresonansi saat beroperasi.
2. daya yang dihasilkan sebanding dengan ukuran dan berat motor.
3. penggunaan arus listrik sebanding dengan beban yang diberikan.
4. resolusi dan akurasi dapat diubah dengan hanya mengganti encoder yang dipakai.

## 2.8 Persamaan *Stoikiometri*

*Stoikiometri* adalah cabang kimia yang berhubungan dengan hubungan kuantitatif yang ada antara reaktan dan produk dalam reaksi kimia. Reaktan adalah zat yang berpartisipasi dalam reaksi kimia sedangkan produk adalah zat yang diperoleh sebagai hasil dari reaksi kimia. *Stoikiometri* bergantung pada kenyataan bahwa unsur-unsur berperilaku dengan cara yang dapat diprediksi dan materi yang tidak dapat diciptakan atau dihancurkan. Karena itu, ketika unsur digabungkan menghasilkan reaksi kimia. Sesuatu yang dikenal dan spesifik yang akan terjadi dan hasil reaksi dapat diprediksi berdasarkan unsur-unsur dan jumlah yang terlibat. Berdasarkan hukum-hukum di atas maka reaksi kimia dapat

menggabungkan dalam rasio bahan kimia yang pasti. Jumlah setiap unsur harus sama di seluruh reaksi. Dalam reaksi kimia yang seimbang, hubungan antara jumlah reaktan dan produk biasanya membentuk rasio bilangan bulat.

Stoikiometri dapat digunakan untuk menghitung jumlah seperti jumlah produk yang dapat diproduksi jika diberikan reaktan dan persentase reaktan yang dibuat menjadi produk diketahui.

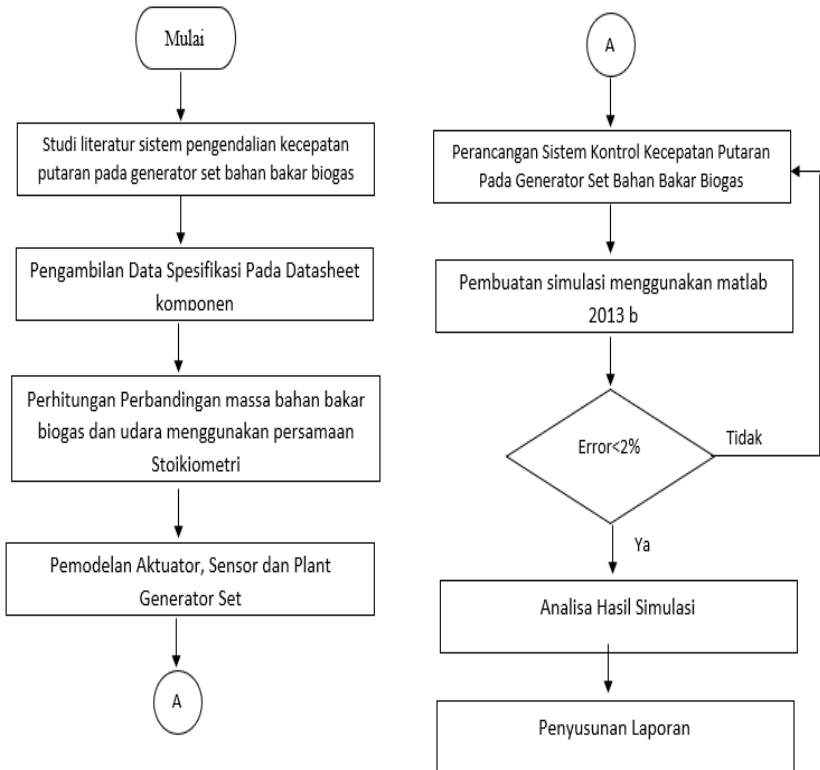


## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah yang akan dilakukan pada penelitian tugas akhir ini. Metodologi penelitian ini digunakan sebagai acuan sehingga penelitian dapat berjalan secara sistematis sesuai dengan *framework* penelitian.

### 3.1. Alur Penelitian

Pada bab ini akan dijelaskan secara runtut alur tahap penelitian tugas akhir yang terlihat pada gambar 3.1 berikut:



**Gambar 3.1.** *Flowchart* Metodologi Penelitian

Pada tahap awal ini dimulai dari studi literatur mengenai wawasan dan pengetahuan yang berhubungan dengan sistem pengendalian kecepatan putaran pada generator bahan bakar biogas. Sebelumnya kita harus mengetahui terlebih dahulu nilai *set point*, *process variabel* dan *manipulated variable*. Pada penelitian ini telah ditentukan *set point* yang akan digunakan adalah RPM referensi atau RPM standard yang digunakan. Untuk *process variabel* nya adalah RPM juga. Sedangkan *manipulated variable* adalah laju bahan bakar biogas dan juga udara. Selain itu studi literatur yang harus dipelajari juga yaitu mengenai proses pembakaran pada *generator set* yang menggunakan jenis *spark ignition engine* dengan sistem *single fuel* (biogas). Untuk mendapatkan pembakaran sempurna maka perlu dilakukan perhitungan perbandingan bahan bakar biogas dan udara menggunakan persamaan stoikiometri.

### 3.2. Pengambilan Data

Setelah melakukan studi literatur, selanjutnya dilakukan pengambilan data pada *datasheet* aktuator servo, sensor rotary encoder. Beberapa data yang bisa di ambil adalah laju maksimal, laju minimal dan data rpm maksimal dan minimal yang mampu di baca oleh *sensor rotary encoder*. Selain itu juga diambil data arus pada variasi pembebanan. Data arus pembebanan ini dibutuhkan untuk dikalikan dengan torsi elektrik yang nantinya akan mempengaruhi rpm yang dihasilkan oleh generator set.

### 3.3. Kandungan Biogas

Untuk mengetahui perbandingan massa bahan bakar biogas dan udara dalam proses pembakaran akan lebih baiknya mengetahui komponen penyusun bahan bakar tersebut. Berikut merupakan spesifikasi unsur-unsur dasar kimia :

**Tabel 3.1** Spesifikasi unsur-unsur dasar kimia [10]

<i>Formula</i>	<i>Molecular Weight</i>
C	12
S	32
H <sub>2</sub>	2
CO	28
O <sub>2</sub>	32
N <sub>2</sub>	28
CO <sub>2</sub>	44
H <sub>2</sub> O	18

Bahan bakar yang digunakan pada *generator set* ini adalah biogas (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>2</sub>). Kandungan pada biogas memiliki beberapa elemen diantaranya metana, *carbon dioxide*, *carbon monoxide*, *nitrogen*, *hydrogen*, *hydrogen sulfide*, *oxygen*. Kandungan biogas yang paling banyak adalah metana sebanyak 55-75%. Hal ini yang menyebabkan biogas berpotensi besar untuk dapat menghasilkan energi listrik. Sedangkan kandungan oksigen dalam biogas sangat kecil. Sehingga untuk mendukung proses pembakaran sempurna diperlukan oksigen yang banyak daripada jumlah biogas itu sendiri.

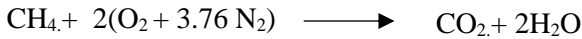
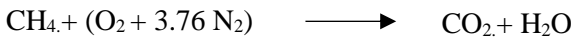
Selain mengetahui kandungan biogas itu sendiri, perlu diketahui massa unsur karbon dan H<sub>2</sub> pada biogas. Hal ini penting karena kandungan karbon dan H<sub>2</sub> cukup mendominasi kandungan biogas. Untuk mengetahui jumlah massa karbon dan H<sub>2</sub> pada biogas dapat dilihat pada tabel 3.2 sebagai berikut :

**Tabel 3.2** Jumlah massa unsur C dan H<sub>2</sub> Pada Biogas [10]

Element Compound	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Total
C	1	2	3	4	10
	0.68571	0.1333	0.027	0.01811	0.864
H <sub>2</sub>	2	3	4	5	28
	0.11428	0.0166	0.003	0.00188	0.136

### 3.4 Persamaan Stokiometri antara udara dan bahan bakar biogas ( $C_6H_{10}O_2$ )

Perhitungan nilai AFR ini digunakan untuk mengetahui perbandingan antara *mass flowrate* udara dan *mass flowrate* bahan bakar biogas. Reaksi kimia antara biogas dan udara bisa diketahui dengan menggunakan persamaan *stokiometri*. Namun dalam reaksi *stokiometri* bahan bakar biogas yang digunakan adalah  $CH_4$ . Berikut merupakan reaksi kimia antara biogas dan udara :



#### a. Bahan bakar biogas

Massa atom C dalam  $CH_4$

$$\begin{aligned} C &= MW_C \times 1 \\ &= 12 \times 1 \\ &= 12 \text{ g/mol} \end{aligned} \tag{3.1}$$

Massa atom H dalam  $CH_4$

$$\begin{aligned} H &= MW_H \times 4 \\ &= 1 \times 4 \\ &= 4 \text{ g/mol} \end{aligned} \tag{3.2}$$

Sehingga kandungan udara total sebagai berikut :

$$CH_4 = 12 + 4 = 16 \text{ g/mol}$$

#### b. Udara

Massa atom O dalam  $O_2$

$$\begin{aligned} O &= MW_O \times 2 \\ &= 16 \times 2 \\ &= 32 \text{ g/mol} \end{aligned} \tag{3.3}$$

Massa atom N dalam  $N_2$

$$N = MW_N \times 2 \tag{3.4}$$

$$= 14 \times 2$$

$$= 28 \text{ g/mol}$$

Karena udara mengandung 3.76 N<sub>2</sub> maka :

$$N \times 3.76 = 28 \times 3.76$$

$$N = 105.28 \text{ g/mol}$$

Sehingga kandungan udara total sebagai berikut :

$$2(\text{O}_2 + 3.76 \text{ N}_2) = 2 (32 + 105.28) = 274.56 \text{ g/mol}$$

$$AFR_{sto} = \frac{\text{Bahan Bakar Biogas}}{\text{udara}} \quad (3.5)$$

$$AFR_{sto} = \frac{16}{274.56}$$

$$AFR_{sto} = \frac{1}{17.16}$$

Dimana :

MW C = *Molecule Weight* atom C

MW H = *Molecule Weight* atom H

MW N = *Molecule Weight* atom N

MW<sub>air</sub> = *Molecule Weight* udara

### 3.5 Persamaan Hubungan Antara Daya Dan *Mass Flow Rate* Bahan Bakar

Persamaan yang menunjukkan hubungan antara daya dan *mass flow rate* bahan bakar biogas adalah sebagai berikut.

$$Q = \dot{m}_{biogas} LHV_{biogas} \quad (3.6)$$

Dimana :

$$\dot{m}_{udara} = \text{Mass flow rate udara (kg/s)}$$

$$\dot{m}_{biogas} = \text{Mass flow rate biogas (kg/s)}$$

$$LHV_{biogas} = 17650 \text{ (Kj/kg)}$$

### 3.6 Pemodelan Matematis

Pada sistem kontrol kecepatan putaran ini terdapat beberapa subsistem yang dapat dimodelkan dalam bentuk persamaan matematis adalah sebagai berikut :

a. Pemodelan Aktuator (*Valve*)

Aktuator yang digunakan untuk menggerakkan *valve* adalah motor servo Mg 996R. Dimana aktuator ini berfungsi untuk membuka atau menutup *valve* yang dilalui oleh bahan bakar biogas. Besar ataupun kecilnya bukaan *valve* akan mempengaruhi besar atau kecilnya laju aliran pada biogas. Persamaan matematis untuk *control valve* adalah sebagai berikut :

$$\frac{\dot{m}_b(s)}{U(s)} = \frac{K_{cv}}{\tau_v s + 1} \quad (3.7)$$

Keterangan :

$\dot{m}_b(s)$  = laju aliran bahan bakar yang termanipulasi (Kg/s)

$U(s)$  = sinyal masukan ke *control valve* (volt)

$K_{cv}$  = gain total *control valve*

$\tau_v$  = time konstan *control valve* (s)

Berikut merupakan data yang diperoleh dari datasheet servo Mg 996R :

- Flow Action = Open
- Laju max = 0,47 kg/s
- Laju min = 0 kg/s
- Operating speed = 0,17 Sekon (0,17/60<sup>0</sup>) 4,8 VDC
- Time Konstan = 63% X 0,17 = 0,107

$$K_{cv} = \frac{0,47 - 0}{5 - 0} = 0,0945$$

$$\frac{\dot{m}_b(s)}{U(s)} = \frac{0,0945}{0,107s + 1} \quad (3.8)$$

b. Pemodelan Sensor *Rotary Encoder*

Berdasarkan datasheet didapatkan data sebagai berikut:

Tegangan = 0-5 volt

Rpm max = 5000

Rpm min = 0

$$G_{cv}(s) = \frac{v(s)}{y(s)} = \frac{\text{span keluaran}}{\text{span variable}}$$

$$\text{Gain} = \frac{5-0}{5000-0} = 0.001$$

$$C_v = \frac{0.001}{s+1} \quad (3.9)$$

c. *Pemodelan Plant Generator Set*

Pada pemodelan plant generator set atau *spark ignition engine* dapat didekati menggunakan metode *mean value engine modelling* (MVEM). Ada 5 Subsistem yang berperan yaitu *throttle valve*, *intake manifold*, *engine mass flow*, *power generation* dan *combustion torque produced by engine*. Namun dalam sistem pengendalian kecepatan ini hanya menggunakan 2 subsistem saja yaitu *power generation* dan *combustion torque produced by engine*. Karena 3 sistem yang lainnya digunakan untuk menentukan masa udara. Sedangkan dalam sistem kecepatan putaran ini menggunakan persamaan stoikiometri untuk menentukan massa udara. Sehingga masaa udara mengikuti massa bahan bakar biogas yaitu dengan perbandingan 1:17,16 .

*Generated Power* merupakan hasil dari nilai  $\eta_c$  atau efisiensi pembakaran, nilai LHV biogas,  $q_{cyl}$  dan AFR antara biogas dan udara, sehingga *power* yang dihasilkan oleh *engine* didapatkan melalui persamaan berikut :

$$\begin{aligned} P &= \eta_c H q_f \\ P &= \eta_c H q_{cyl} \left( \frac{F}{A} \right) \\ P &= \frac{\eta_c \eta_v P_{out} V_d \omega H \left( \frac{F}{A} \right)}{2\pi N R T_{in}} \end{aligned} \quad (3.10)$$

Keterangan

- $\eta_c$  = Efisiensi pembakaran (%)
- $\eta_v$  = Efisiensi Volumetrik (%)
- $P_{out}$  = Tekanan *output* dari *intake manifold* (Pa)
- $\omega$  = *Speed* (radian per menit)
- $R$  = *Gas constant* (J/kg K)
- $N$  = Jumlah *revolution per cycle* (2 for 4 stroke)
- $T$  = *Temperature* (K)
- $F/A$  = Fuel to air ratio

$V_d = \text{Displacement volume (m}^3\text{)}$

Proses pembakaran akan menggerakkan piston dan poros engkol sehingga akan memutar *generator* dengan torsi yang dihasilkan oleh putaran *engine* dan dapat menghasilkan daya *output*. Hal tersebut terjadi karena adanya peristiwa pencampuran bahan bakar biogas dengan udara yang terjadi di dalam silinder mesin kemudian dipantik oleh busi sehingga menghasilkan percikan bunga api. Berikut ini merupakan persamaan torsi yang dihasilkan dari proses pembakaran dengan perbandingan udara dan biogas sesuai dengan persamaan stoikiometri seperti yang diketahui sebelumnya :

$$T_m = \frac{P}{\omega} \quad (3.11)$$

$$\dot{\omega} = \frac{1}{J} [(T_m - T_e) - b\omega] \quad (3.12)$$

$$\dot{\omega} = \frac{1}{J} \left[ \left( \frac{\eta_c \eta_v \eta_e P_{out} V_d H \left( \frac{F}{A} \right)}{2\pi N R T_{in}} - T_e \right) - b\omega \right] \quad (3.13)$$

Keterangan :

$m_{cyl} = \text{Mass air charge (g/intake event)}$

$A/F = \text{Air to fuel ratio}$

$\sigma = \text{Degrees of spark advance before top dead center}$

$N = \text{Engine speed (rad/s)}$

$T_m = \text{Torsi yang dihasilkan oleh putaran engine (Nm)}$

$T_e = \text{Torsi elektrik atau load (Nm)}$



**Tabel 3.3** *Engine Parameter*

Variabel	Nilai	Satuan
Diameter valve (D)	0,02	M
Valve discharge coefficient (Cd)	0,8	-
Air specific heat ratio (k)	1,4	-
Input pressure (Pin)	24000	Pa
Displacement Volume (Vd)	0,88	m <sup>3</sup>
Gas constant (R)	286,9	J/kg K
Input temperature (Tin)	290	K
Intake manifold volume (V)	0,1	m <sup>3</sup>
LHV biogas (Hbio)	17,65	MJ
LHV bensin (Hben)	42	MJ
Electric efficiency (ηe)	0,43	-
Generator damping	0,5	Ns

Hubungan antara arus (beban daya) dengan  $T_e$  dapat dijelaskan pada rumus sebagai berikut:

$$Vm(s) = Rm \frac{Tm}{Km} (s) + Lm \frac{Tm}{Km} (s) + Km\omega \quad (3.14)$$

Torsi yang tidak seimbang pada sumbu rotasi menentukan laju perubahan sudut momentum sehingga :

$$T = \frac{dl}{dt} \quad (3.15)$$

$l$  adalah vektor momentum sudut,  $T$  adalah torsi dan  $t$  adalah waktu. Untuk rotasi tentang sumbu tetap adalah sebagai berikut:

$$l = J\omega \quad (3.16)$$

$J$  adalah momen inersia dan merupakan kecepatan sudut.

$$T = \frac{dl}{dt} = \frac{d(J\omega)}{dt} = j \frac{d\omega}{dt} \quad (3.17)$$

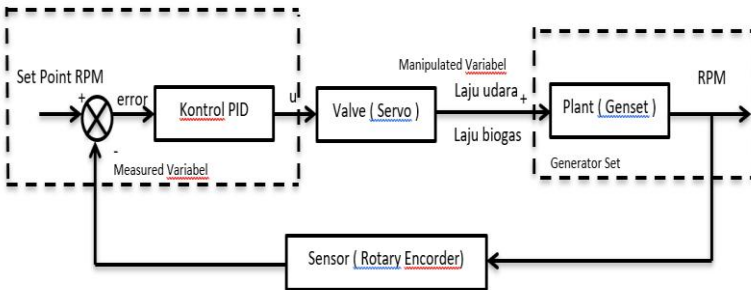
$$T = -b\omega \quad (3.18)$$

Torsi sebanding dengan arus jangkar dan konstantan elektrik.

$$T = k_e i \quad (3.19)$$

### 3.7 Perancangan Sistem Pengendalian Kecepatan Generator Set Bahan Bakar Biogas

Dalam perancangan sistem pengendalian kecepatan generator set dibutuhkan beberapa subsistem diantaranya set point, konversi, kontrol PID, *transfer function* aktuator, *transfer function* sensor dan pemodelan dari plant generator set :



**Gambar 3.2** Diagram Blok Sistem Pengendalian Kecepatan Putaran Generator Set

Pada gambar 3.4 diatas menjelaskan mengenai diagram blok sistem pengendalian kecepatan putaran generator set bahan bakar biogas dengan set point awal sebagai RPM referensi sebesar 3000. Kontroler yang digunakan adalah PID (*Proportional Integral Derivative*). Kemudian set point berupa nilai RPM referensi akan masuk kedalam kontrol PID namun sinyal yang masuk berupa tegangan yang sebelumnya sudah dikonversi dari RPM menjadi tegangan. Pada perancangan sistem kontrol ini, nilai *error* yang dihasilkan dari hasil pengurangan antara *set point* dengan *process variable*(pv). Dengan adanya perubahan beban diharapkan sistem kontrol kecepatan putaran ini akan stabil dan mempertahankan nilai set point.

### 3.8 Pembuatan Simulasi Menggunakan Matlab 2013 b

#### a. Simulink sistem keseluruhan

Pada tugas akhir ini pembuatan simulasi digunakan untuk mengetahui performa dari *system control* kecepatan putaran secara keseluruhan. Pada sistem *close loop* ini RPM merupakan *Process Variable* (PV) dan laju aliran bahan bakar sebagai *Manipulated variable* (MV). Dengan perubahan beban maka akan menyebabkan perubahan tegangan. Dengan berubahnya tegangan juga menyebabkan kecepatan putaran genset. Dengan sistem kontrol ini diharapkan mampu menjaga stabilitas sistem.

#### b. Simulink Sistem Open Loop

Pada sistem *Open loop* akan dilakukan variasi beban. Dengan variasi beban maka akan menyebabkan adanya perubahan putaran pada genset. Hal ini membuktikan bahwa sistem *open loop* sangat berpengaruh terhadap variasi beban karena tidak ada *feedback* yang diberikan sistem.

#### c. Simulink aktuator (servo)

Simulink aktuator dengan fungsi transfer yang sudah dicari sebelumnya. Sinyal input berupa tegangan dan output nya adalah berupa laju biogas pada aktuator tersebut.

#### d. Simulink sensor (*Rotary Encoder*)

Simulink sensor *rotary encoder* dengan fungsi transfer yang sudah dicari sebelumnya. Sinyal inputan berupa RPM dan outputan nya adalah tegangan yang nantinya akan menjadi *feedback* sistem.

#### e. *Simulink plant generator set*

Simulink generator set yang terdiri dai generated power dan *Combustion Torque Produced* atau *damping*.

#### f. *Simulink Generated Power*

*Simulink generated power* dengan masukan bahan bakar biogas dan udara yang akan mengalami proses pembakaran di

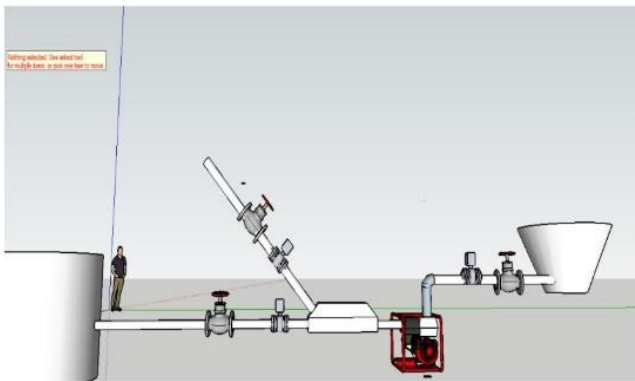
dalam tabung pembakaran generator set. Dimana output dari *generated power* ini adalah *power* dan *tm* (torsi mekanik) generator.

g. *Simulink damping*

Pada subsystem ini dapat kita ganti beban nya dengan cara mengalikan arus dengan torsi elektriknya. Misal dengan perubahan beban 100 watt, tegangan sebesar 220v maka arus yang dikeluarkan adalah 0.45 A. Arus ini akan di masukan kedalam *simulink damping*. Sehingga respon yang dihasilkan akan ada terlihat adanya perubahan atau tidak saat belum di kendalikan atau sudah dikendalikan.

h. Desain Sistem Secara Keseluruhan

Berikut merupakan Desain sistem secara keseluruhan :



**Gambar 3.3** Desain Sistem Keseluruhan pada Generator Set *Dual Fuel* ( Bensin dan Biogas)

## **BAB IV**

### **ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

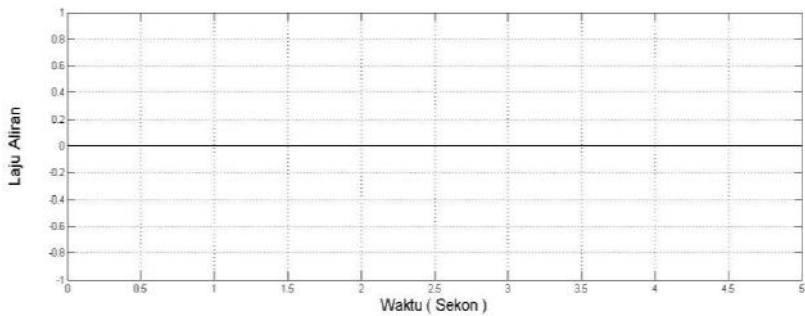
Pada bab IV menampilkan hasil analisa yang telah dimodelkan pada bab III. Pada bab ini terdiri dari beberapa bagian antara lain pengujian hasil simulasi sistem kecepatan putaran, uji *open loop* untuk setiap *instrument*, uji kestabilan untuk setiap variasi perubahan beban. Kemudian tahap terakhir menguji hasil respon dari sistem kontrol kecepatan dengan cara *tracking set point*.

#### **4.1. Pengujian Control Valve (Servo Mg 996R)**

*Control valve* adalah alat yang digunakan untuk memodifikasi aliran fluida atau laju tekanan pada sebuah sistem proses dengan menggunakan daya untuk operasinya. *Control valve* juga merupakan elemen kontrol akhir yang paling umum digunakan untuk mengatur aliran bahan dalam sebuah proses. Pada suatu lup proses hanya ada resistansi *variable* yang dikontrol, sedangkan resistansi berubah-ubah karena perubahan aliran pada sistem atau karena lapisan pipa dan permukaan dinding peralatan. Variasi resistansi ini tidak diinginkan dan harus dikompensasi dengan menggunakan *control valve*. *Control valve* yang digunakan adalah jenis *ball valve* yang diintegrasikan dengan motor servo tipe Mg 996R. Pemilihan tipe *control valve* ini sudah disesuaikan dengan kebutuhan *plant* secara *real plant*. Pengujian *control valve* ini menggunakan sinyal input 0 – 5 volt. Secara umum sinyal sinyal 0 – 5 volt merupakan sinyal keluaran dari *controller* yang akan menjadi sinyal input pada *control valve* sehingga akan melakukan aksi. Pengujian ini bertujuan untuk menguji performansi kerja dari *control valve*.

##### **4.1.1 Pengujian Control Valve Dengan Masukan 0 volt**

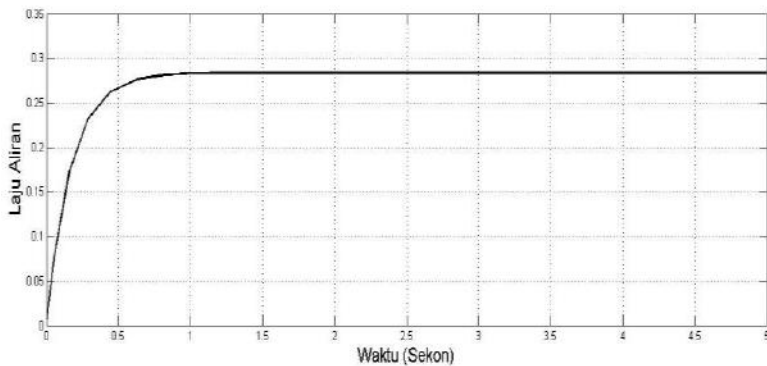
Dengan memberikan sinyal masukan 0 volt maka akan menyebabkan *control valve* tersebut dalam kondisi 0% atau dalam keadaan menutup sehingga tidak akan membiarkan aliran bahan bakar masuk kedalam tabung ruang pembakaran generator.



**Gambar 4.1** Hasil Pengujian *Control Valve* Sinyal Input 0 volt

#### 4.1.2 Pengujian *Control Valve* Dengan Masukan 3 volt

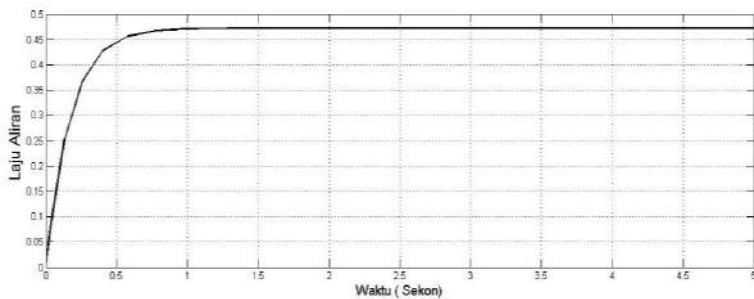
Untuk pengujian dengan sinyal masukan 3 volt dengan cara memasukkan nilai sebesar 3 volt pada *input* dari *transfer function* dari *control valve*. Tujuan dari pengujian ini adalah mengetahui respon laju aliran bahan bakar jika *control valve* mendapat sinyal input 3 volt dari kontroler yang menunjukkan bahwa sinyal koreksi dari kontroler memerintahkan *control valve* untuk membuka pada kondisi membuka penuh atau membuka 60%. Pada gambar respon tersebut didapatkan bahwa dengan sinyal input 3 volt akan mengakibatkan laju aliran pada kondisi seperti pada gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Hasil Pengujian *Control Valve* Sinyal Input 3 volt

#### 4.1.3 Pengujian *Control Valve* Dengan Masukan 5 volt

Untuk pengujian dengan sinyal masukan 5 volt dengan cara memasukkan nilai sebesar 5 volt pada *input* dari *transfer function* dari *control valve*. Tujuan dari pengujian ini adalah mengetahui respon laju aliran bahan bakar jika *control valve* mendapat sinyal input 5 volt dari kontroler yang menunjukkan bahwa sinyal koreksi dari kontroler memerintahkan *control valve* untuk membuka pada kondisi membuka penuh atau membuka 100%. Pada gambar respon tersebut didapatkan bahwa dengan sinyal input 5 volt akan mengakibatkan laju aliran sesuai dengan seperti gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Hasil Pengujian *Control Valve* Sinyal Input 5 volt

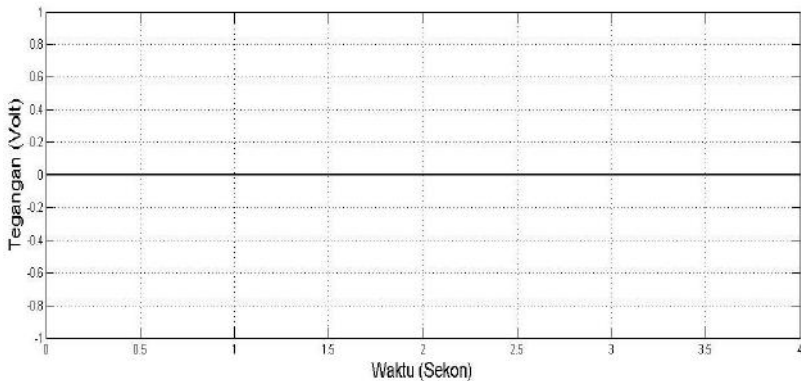
#### 4.2 Pengujian Sensor RPM (*Rotary Encoder E-40*)

Tujuan sensor adalah mendeteksi adanya perubahan lingkungan fisik dapat digunakan untuk mengkonversi suatu besaran tertentu menjadi satuan analog sehingga dapat dibaca oleh suatu rangkaian elektronik. Pada tugas akhir ini sensor yang digunakan adalah sensor *rotary encoder*. Pengujian sensor ini bertujuan untuk mengetahui tegangan sinyal listrik oleh rangkaian optocoupler dan untuk mengetahui keberhasilan rangkaian sensor *rotary encoder* dalam mendeteksi putaran. Sinyal masukan yang di terima oleh sensor ini adalah berupa RPM dan sinyal keluarannya adalah tegangan. Pengujian ini bertujuan untuk

menguji performansi kerja dari sensor *rotary encoder* dari pemodelan fungsi *transfer* yang telah dibuat didalam simulink.

#### 4.2.1 Pengujian sensor *rotary encoder* Dengan Masukan 0 RPM

Sinyal input yang diterima oleh sensor adalah 0 RPM sehingga tidak ada tegangan atau sinyal keluaran sensor yang akan masuk kedalam *controler* yang nantinya akan menjadi *feedback* dari sistem kontrol kecepatan putaran. Berikut merupakan respon yang dihasilkan oleh *sensor rotary encoder* dengan masukan 0 RPM :

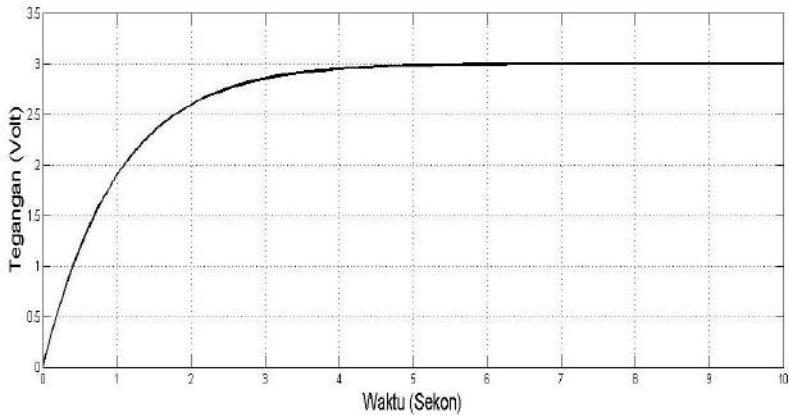


**Gambar 4.4** Hasil Pengujian Sensor 0 RPM

#### 4.2.2 Pengujian sensor *rotary encoder* Dengan Masukan 3000 RPM

Sinyal input yang diterima oleh sensor adalah 3000 RPM sehingga sinyal keluaran nya adalah 3 volt. Sinyal keluaran sensor tersebut yang akan masuk kedalam *controler* yang nantinya akan menjadi *feedback* dari sistem kontrol kecepatan putaran.

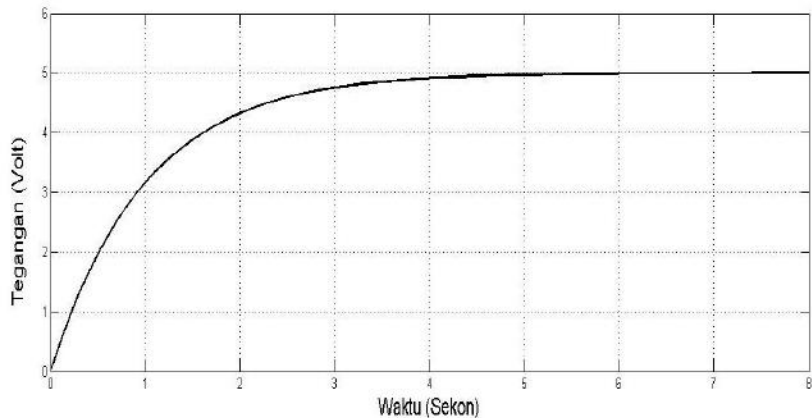




**Gambar 4.5** Hasil Pengujian Sensor 3000 RPM

#### 4.2.3 Pengujian sensor *rotary encoder* Dengan Masukan 5000 RPM

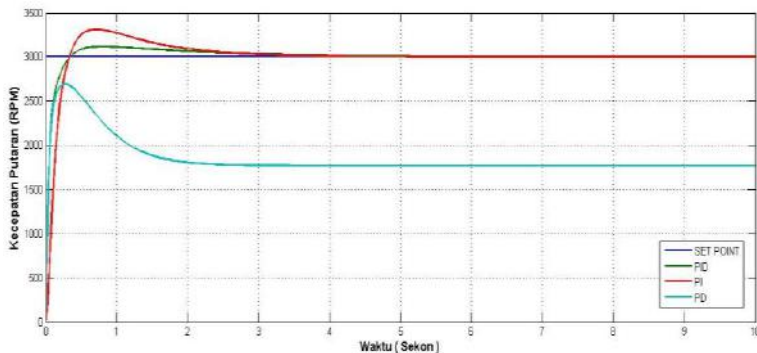
Sinyal input yang diterima oleh sensor adalah 5000 RPM sehingga sinyal keluaran nya adalah 5 volt. Sinyal output sensor tersebut yang akan masuk kedalam *controller* yang nantinya akan menjadi feedback dari sistem kontrol kecepatan putaran.



**Gambar 4.6** Hasil Pengujian Sensor 5000 RPM

### 4.3 Pengujian Metode Control

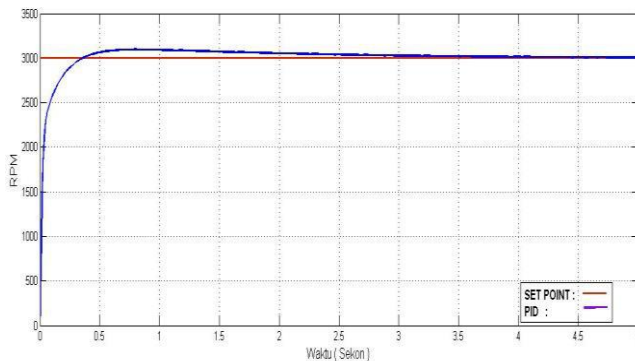
Dalam pengujian metode *control system* ini adalah pengujian yang bertujuan untuk memilih kontrol yang sesuai dan cocok untuk digunakan dalam sistem kontrol kecepatan putaran *generator set* ini. Setelah di uji respon dengan *set point* yang sama. Sehingga didapatkan respon sistem sebagai berikut :



**Gambar 4.7** Respon Sistem Dengan Variasi Metode Kontrol

Pada gambar 4.7 terdapat 3 respon yang berbeda-beda dengan variasi metode kontrol yang berbeda-beda diantaranya kontrol PI, PD dan PID. Respon dengan line berwarna biru adalah PD (*Proportional Derivativ*). Pada pengendalian terlihat bahwa nilai *maximum overshoot* nya cukup besar dibandingkan dengan kontrol PI (*Proportional Integral*) maupun PID adalah 64% dengan nilai *maximum overshoot* yang tinggi menyebabkan kontrol PD kurang baik jika digunakan dalam mengendalikan kecepatan putaran. Sedangkan respon dengan line berwarna merah adalah kontrol PI (*Proportional Integral*). Pada kontrol PI (*Proportional Integral*) terlihat bahwa *maximum overshoot* yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan kontrol PID. *Maximum overshoot* pada kontrol integral adalah sebesar 11,3%. Sehingga respon yang paling baik adalah PID. Agar lebih jelas lihat respon line berwarna hijau adalah PID (*Proportional Integral Derivative*). Pada kontrol PID nilai *maximum overshoot* yang

dihasilkan adalah 6,6%. Dengan demikian metode kontrol yang dipakai adalah PID karena kontrol PID menghasilkan respon yang lebih baik diantara metode kontrol yang lain. Parameter  $k_p$ ,  $k_i$  dan  $k_d$  yang digunakan ini adalah dengan cara *trial and error* atau dengan menggunakan metode secara coba-coba. Sehingga menghasilkan parameter  $k_p$  sebesar 1,4 , parameter  $k_i$  sebesar 1,3 dan parameter  $k_d$  sebesar 0,12. Berikut merupakan respon close loop dengan *control* PID.



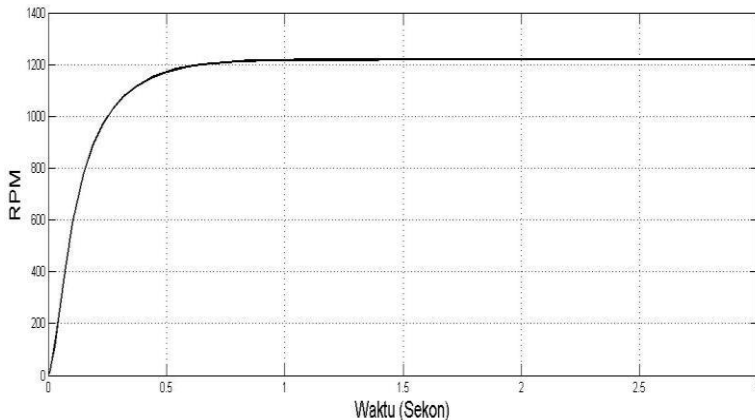
**Gambar 4.8** Respon *close loop* dengan *control* PID

#### 4.4 Pengujian *Open Loop* Sistem

*Open loop control* atau kontrol lup terbuka adalah suatu sistem yang keluarannya tidak mempunyai pengaruh terhadap aksi kontrol. Artinya sistem kontrol terbuka memiliki keluaran yang tidak dapat digunakan sebagai umpan balik dalam masukan. Dalam suatu sistem kontrol terbuka, keluaran tidak dapat dibandingkan dengan masukan acuan. Jadi, untuk setiap input acuan berhubungan dengan operasi tertentu akibat ketetapan dari sistem tergantung dari kalibrasi. Dengan adanya gangguan maka *system control open loop* tidak dapat melaksanakan tugas sesuai yang diharapkan. *System control open loop* dapat digunakan hanya jika hubungan antara masukan dan keluaran diketahui dan tidak terdapat gangguan internal maupun eksternal. Dalam pengujian sistem yang terbuka ini yang dibutuhkan adalah sinyal step, *Controller* dan plant tanpa adanya *feedback* sistem.

#### 4.4.1 Pengujian *open loop* dengan tegangan 1 volt

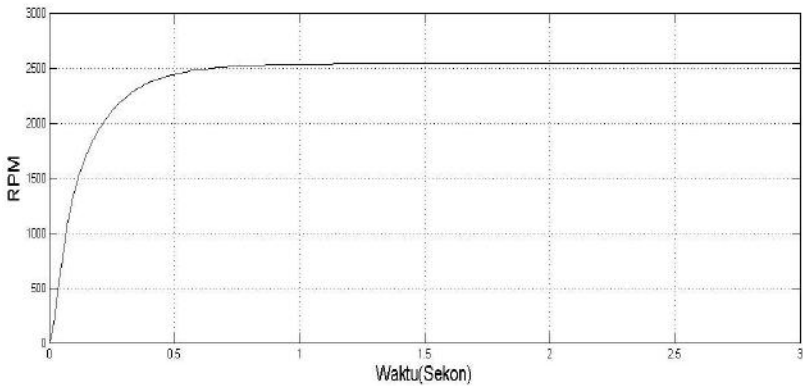
Pengujian *open loop* ini dilakukan untuk mengetahui respon sistem apabila diberi inputan tegangan 1 volt tanpa adanya *feedback* dan RPM yang dihasilkan sebesar 1204. Dari respon menunjukkan bahwa sistem tidak dapat mencapai set point. Hal ini disebabkan karena sistem tidak dilengkapi dengan kontrol. Sehingga nilai PV (*Proses variable*) tidak sama dengan nilai SV (*Set Point*). Hal ini membuktikan bahwa apabila sistem diberi tegangan yang berbeda-beda secara terus-menerus maka RPM atau kecepatan putaran yang berbeda-beda. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat respon dengan tegangan 1 volt seperti berikut:



**Gambar 4.9** Respon Pengujian *Open Loop* Tegangan 1 volt

#### 4.4.2 Pengujian *open loop* dengan tegangan 3 volt

Pengujian *open loop* ini dilakukan untuk mengetahui respon sistem apabila diberi inputan tegangan 3 volt tanpa adanya *feedback* dan RPM yang dihasilkan sebesar 2507. Pengujian ini dapat dilihat ada respon di bawah ini:

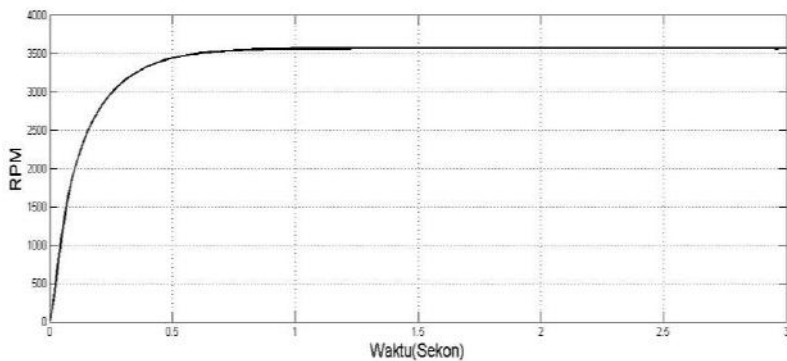


**Gambar 4.10** Respon Pengujian *Open Loop* Tegangan 3 volt

Sama halnya dengan pengujian *open loop* tegangan 1 volt. Pada pengujian *open loop* tegangan 3 volt ini menghasilkan nilai PV yang tidak sama dengan nilai SV (*Set Point*).

#### 4.4.3 Pengujian *Open Loop* dengan tegangan 5 volt

Pengujian *open loop* ini dilakukan untuk mengetahui respon sistem apabila diberi inputan tegangan 5 volt tanpa adanya *feedback* dan RPM yang dihasilkan sebesar 3523. Pengujian ini dapat dilihat ada respon di bawah ini:



**Gambar 4.11** Respon Pengujian *Open Loop* dengan tegangan 5 volt

Dari pengujian *open loop system* plant tanpa adanya kontrol dan *feedback* tersebut menghasilkan RPM yang berbeda beda dengan input tegangan yang berbeda-beda. Hal ini membuktikan bahwa tegangan memengaruhi kecepatan putaran generator. Sehingga diperlukan pengendalian kecepatan putaran agar sistem menjadi lebih stabil walaupun tegangan yang diterima berubah-ubah.

#### 4.4.4 Hubungan antara tegangan dan kecepatan putaran pada *open loop system*

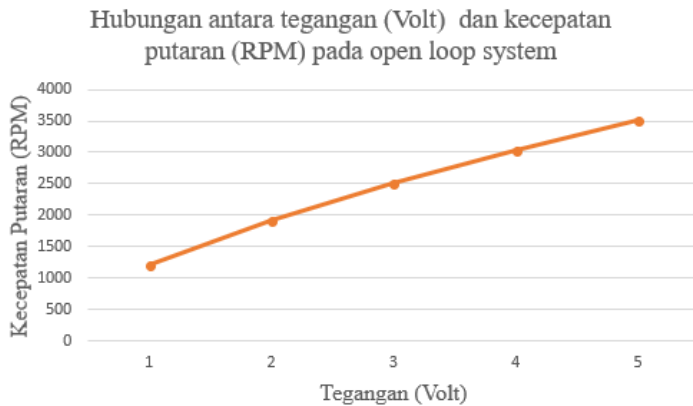
Berikut merupakan tabel hubungan antara tegangan dan kecepatan putaran pada *open loop system* :

**Tabel 4.1** Hubungan antara tegangan dan kecepatan putaran pada *open loop system*

No.	Tegangan (Volt)	Kecepatan Putaran (RPM)
1.	1 Volt	1204
2.	2 Volt	1913
3.	3 Volt	2507
4.	4 Volt	3037
5.	5 Volt	3523

Dari data tabel 4.1 dapat disimpulkan bahwa semakin besar tegangan input yang masuk pada aktuator servo maka bukaan valve akan semakin besar hal ini menyebabkan laju biogas dan udara akan semakin banyak masuk kedalam ruang pembakaran. Setelah terjadi proses pembakaran maka putaran generator set semakin tinggi. Dengan semakin tingginya putaran maka menyebabkan sistem menjadi tidak stabil. Hal ini membuktikan bahwa *open loop system* ini sesuai dengan keadaan real nya. Kemudian akan dilakukan suatu pengendalian *close loop system* agar ketika system diberi tegangan yang berubah-ubah maka sistem akan stabil dengan kecepatan putaran yang tetap.

Untuk lebih jelasnya berikut merupakan grafik hubungan antara tegangan dan kecepatan putaran pada *open loop system* :

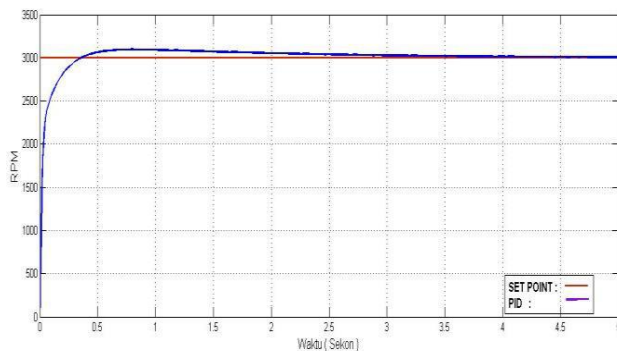


**Gambar 4.12** Hubungan antara tegangan dan kecepatan putaran pada *open loop system*

Pada gambar 4.12 telah dijelaskan sebelumnya pada tabel 4.1 bahwa hubungan antara tegangan dan kecepatan putaran pada *open loop system* berbanding lurus.

#### 4.5 Pengujian *Close Loop System*

Berikut merupakan respon pengujian *close loop system* :



**Gambar 4.13** Respon *Close Loop System* untuk beban 1200 watt

Pada gambar 4.13 menunjukkan respon *close loop system* dengan kecepatan putaran 3000 RPM. Walaupun dilakukan perubahan beban dan perubahan tegangan yang masuk kedalam PID sebagai *delta error*. Parameter respon *close loop* untuk beban 1200 watt diantaranya adalah *maximum overshoot* sebesar 8,4%, *delay time* 0,1 sekon, *rise time* 0,4 sekon, *peak time* 0,8 sekon dan *settling time* 3,8 sekon.

#### 4.5.1 Parameter respon untuk variasi beban pada *close loop system*

Berikut merupakan parameter respon untuk variasi beban pada *close loop system* :

**Tabel 4.2** Parameter respon untuk variasi beban pada *close loop system*

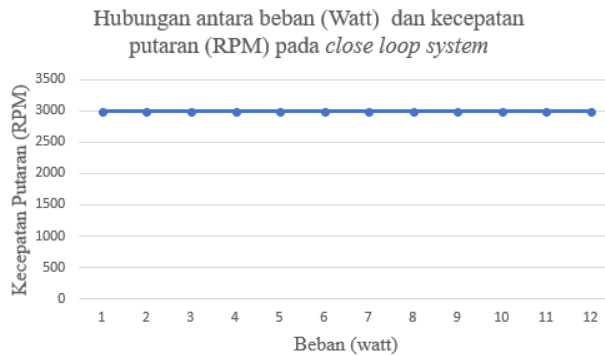
No.	Beban	<i>Maximum overshoot (%)</i>	<i>Settling time (sekon)</i>	<i>Error Steady state (%)</i>
1	100	14,6	6	0,33
2	200	14,3	5,8	0,36
3	300	14	5,6	0,35
4	400	13	5,4	0,32
5	500	12,6	5,2	0,35
6	600	12	5	0,31
7	700	11,3	4,8	0,29
8	800	10,6	4,6	0,23
9	900	10	4,4	0,30
10	1000	9,3	4,2	0,31
11	1100	8,6	4	0,29
12	1200	8,4	3,8	0,34

Dari data tabel 4.2 menunjukkan nilai parameter respon yaitu *maximum overshoot*, *settling time* dan *error steady state* untuk variasi beban. Hal ini juga menunjukkan bahwa nilai *maximum overshoot* yang paling tinggi adalah untuk beban 100 watt, karena



beban lampu yang kecil menimbulkan kecepatan putaran yang besar yaitu 14,6%. Sedangkan waktu yang paling cepat untuk mencapai steady adalah untuk beban 1200. Dengan demikian bahwa variasi beban tidak mempengaruhi kecepatan putaran karena set point sesuai dengan *pv (proses variable)*. Hal ini membuktikan bahwa kontrol bekerja dengan baik pada sistem pengendalian kecepatan putaran.

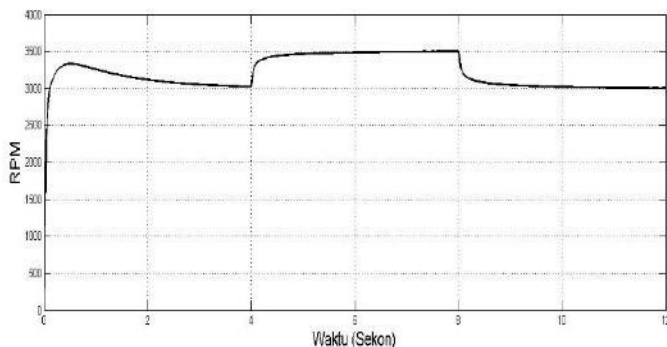
Untuk lebih jelasnya berikut merupakan grafik hubungan antara variasi beban dengan kecepatan putaran pada *close loop system*:



**Gambar 4.14** Hubungan antara variasi beban dengan kecepatan putaran pada *close loop system*

#### 4.6 Pengujian Dengan *Tracking Set Point*

Berikut merupakan respon pengujian *tracking set point* :



**Gambar 4.15** *Tracking Set Point*

Pada gambar 4.15 menunjukan respon *close loop system* untuk dilakukan *tracking set point* dengan set point yang berbeda atau set point ketika dinaikan dan ketika diturunkan dengan variasi perbedaan waktu. Pada saat *set point* diturunkan dari set point awal 3000 RPM, kemudian di naikan sebesar 500 ketika berada di detik ke 4. Lalu *set point* diturunkan sebesar 500 ketika berada pada detik ke 8. Hal tersebut membuktikan bahwa pv pada kontrol kecepatan putaran sudah bisa menyesuaikan *set point* ketika diubah-ubah.

#### 4.7 Pengujian Sistem Kontrol Kecepatan Putaran Dengan Perubahan Beban

Dalam pengujian sistem kontrol kecepatan putaran dengan variasi beban adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.3** Nilai ampere dengan perubahan beban yang bervariasi

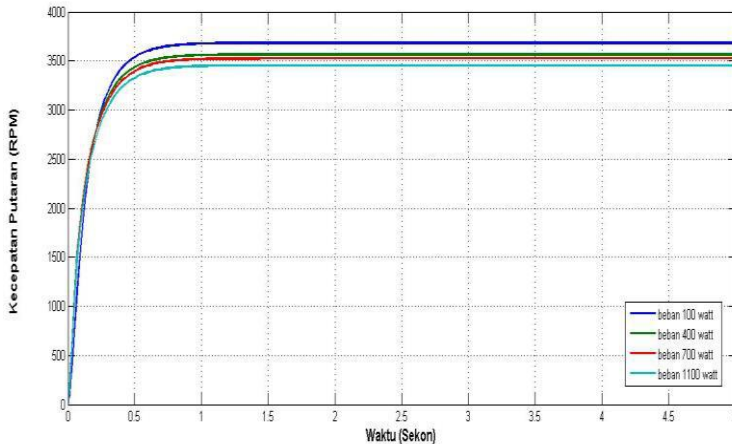
No.	Tegangan (Volt)	Beban (Watt)	Arus (Ampere)
1	220	100	0,45
2	220	200	0,90
3	220	300	1,3
4	220	400	1,8
5	220	500	2,2
6	220	600	2,7
7	220	700	3,1
8	220	800	3,6
9	220	900	4,0
10	220	1000	4,5
11	220	1100	5
12	220	1200	5,4

Data tabel 4.3 didapatkan dengan menggunakan hukum *kirchhoff* yaitu nilai tegangan sebesar 220 volt sesuai dengan tegangan primer dari PLN. Sedangkan beban merupakan beban lampu.

Maka dari itu dilakukan pengujian sistem dengan adanya variasi perubahan beban (*Watt*) diantaranya 100-1200 watt dengan input tegangan yang sama yaitu 5 volt , 3 volt dan 1 vlot. Berikut merupakan respon yang dihasilkan:

#### 4.7.1 Respon pengujian *open loop system* dengan input 5 volt

Berikut merupakan Respon pengujian *open loop system* dengan input 5 volt :



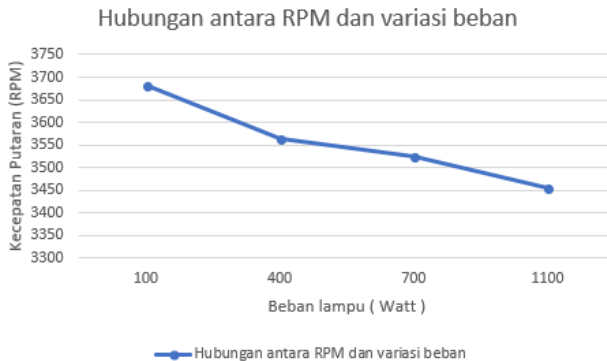
**Gambar 4.16** Respon pengujian *open loop system* untuk input 5 volt dengan variasi beban

Pada gambar respon pengujian *open loop system* untuk input 5 volt dapat ditunjukkan nilai RPM untuk masing-masing beban . Berikut merupakan tabel hubungan antara beban lampu dan kecepatan putaran:

**Tabel 4.4** Hubungan antara beban lampu dan kecepatan putaran tegangan 5 volt

No.	Beban (Watt)	Arus (Ampere)	Kecepatan Putaran (RPM)
1.	100	0,45	3683
2.	400	1,8	3565
3.	700	3,1	3525
4.	1100	5	3454

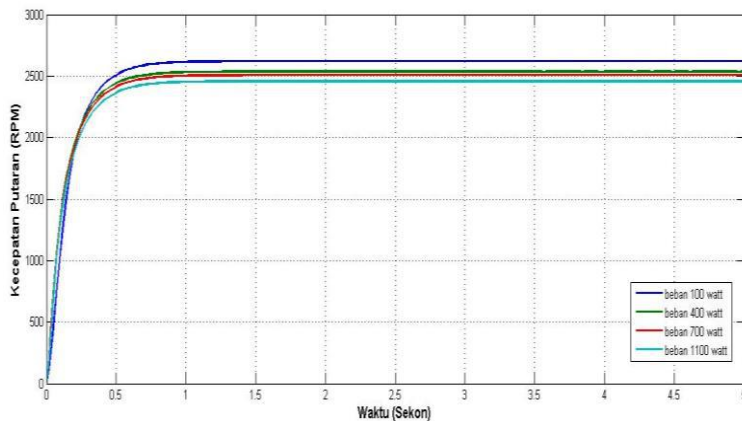
Untuk lebih jelasnya berikut merupakan grafik hubungan antara beban lampu dan kecepatan putaran :



**Gambar 4.17** Hubungan antara beban lampu dan kecepatan putaran tegangan 5 volt

#### 4.7.2 Respon pengujian *open loop system* dengan input 3 volt

Berikut merupakan hasil respon yang dihasilkan untuk inputan 3 volt :



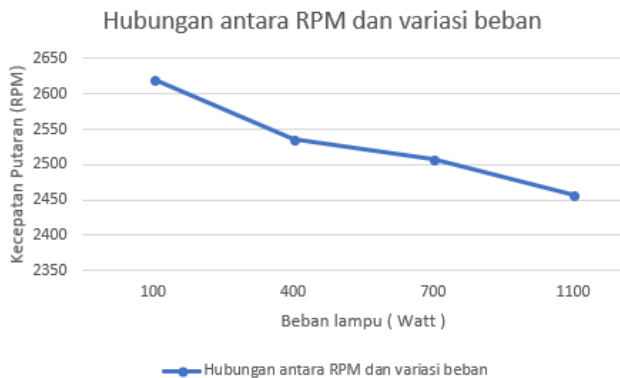
**Gambar 4.18** Respon pengujian *open loop system* untuk inputan 3 volt dengan variasi beban

Pada gambar respon pengujian *open loop system* untuk input 3 volt dapat ditunjukkan nilai RPM untuk masing-masing beban . Berikut merupakan tabel hubungan antara beban lampu dan kecepatan putaran :

**Tabel 4.5** Hubungan antara beban lampu dan kecepatan putaran tegangan 3 volt

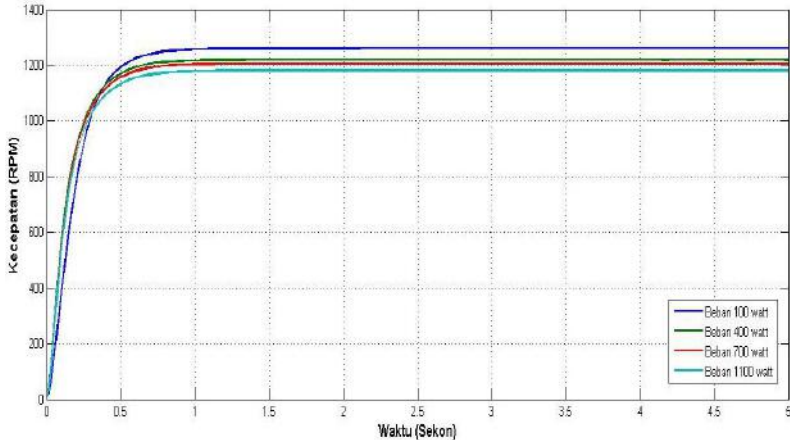
No.	Beban (Watt)	Arus (Ampere)	Kecepatan Putaran (RPM)
1.	100	0,45	2620
2.	400	1,8	2537
3.	700	3,1	2507
4.	1100	5	2457

Untuk lebih jelasnya berikut merupakan grafik hubungan antara beban lampu dan kecepatan putaran :



**Gambar 4.19** Hubungan antara beban lampu dan kecepatan putaran tegangan 3 volt

4.7.3 Respon pengujian *open loop system* dengan input 1 volt  
Berikut merupakan hasil respon yang dihasilkan untuk input 1 volt :



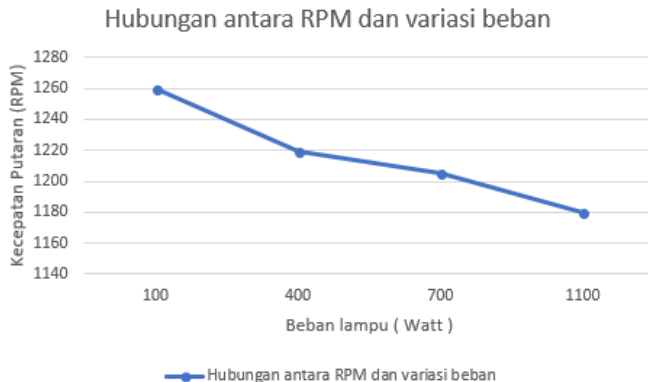
**Gambar 4.20** Respon pengujian *open loop system* dengan input 1 volt dengan variasi beban

Pada gambar respon pengujian *open loop system* untuk input 1 volt dapat ditunjukkan nilai RPM untuk masing-masing beban . Berikut merupakan tabel hubungan antara beban lampu dan kecepatan putaran :

**Tabel 4.6** Hubungan antara beban lampu dan kecepatan putaran tegangan 1 volt

No.	Beban (Watt)	Arus (Ampere)	Kecepatan Putaran (RPM)
1.	100	0,45	1260
2.	400	1,8	1219
3.	700	3,1	1205
4.	1100	5	1180

Untuk lebih jelasnya berikut merupakan grafik hubungan antara beban lampu dan kecepatan putaran :



**Gambar 4.21** Hubungan antara beban lampu dan kecepatan putaran tegangan 1 volt

Dengan variasi RPM yang dihasilkan menunjukkan bahwa variasi beban juga berpengaruh terhadap sistem. Hal ini membuktikan bahwa, apabila sistem tersebut diberi kontrol PID maka sistem akan tetap stabil dengan menghasilkan RPM sesuai dengan set point yaitu sebesar 3000 RPM walaupun beban diganti-ganti secara terus-menerus. Hal ini membuktikan bahwa pengontrol PID akan memberikan aksi kepada *control valve* berdasarkan besar *error* yang diperoleh oleh *control valve* yang akan menjadi aktuatur yang mengatur aliran biogas dan udara. *Error* adalah perbedaan dari *set point* dengan proses variable. Untuk kontrol *proportional* ini cukup mampu untuk memperbaiki respon transien khususnya *rise time* dan *settling time*. Pengontrol proporsional memiliki keluaran yang sebanding/*proportional* dengan besarnya sinyal kesalahan yaitu selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya. Pengontrol integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan mantap nol (*Error Steady State = 0*). Jika sebuah pengontrol tidak memiliki unsur *integrator* maka pengontrol proporsional tidak mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan

mantapnya nol. Sedangkan kontrol integral dapat memperbaiki sekaligus menghilangkan respon *steady state*. Namun dalam menentukan nilai  $K_i$  yang tidak tepat dapat menyebabkan respon transien yang tinggi sehingga dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem. Pemilihan  $K_i$  yang sangat tinggi justru dapat menyebabkan output berosilasi karena menambah orde sistem. Keluaran pengontrol ini merupakan hasil penjumlahan yang terus menerus dari perubahan masukannya. Jika sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan maka keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan. Keluaran pengontrol differensial memiliki sifat seperti halnya suatu operasi derivatif. Perubahan yang mendadak pada masukan pengontrol akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. Ketika masukannya tidak mengalami perubahan, keluaran pengontrol juga tidak mengalami perubahan, sedangkan apabila sinyal masukan berubah mendadak dan menaik (berbentuk fungsi *step*), keluaran menghasilkan sinyal berbentuk impuls. Jika sinyal masukan berubah naik secara perlahan (fungsi *ramp*), keluarannya justru merupakan fungsi *step* yang besar magnitudenya sangat dipengaruhi oleh kecepatan naik dari fungsi *ramp* dan konstanta  $K_d$ . Karakteristik pengontrol PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besar pengaruh dari ketiga parameter  $P$ ,  $I$  dan  $D$ . Penentuan konstanta  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  akan mengakibatkan sifat dominan pada masing-masing elemen tersebut. Konstanta yang dominan itulah akan memberikan kontribusi pengaruh pada respon sistem secara keseluruhan. Sehingga sistem pengendalian dibutuhkan untuk memperbaiki tanggapan sistem dinamik agar didapat sinyal keluaran seperti yang diinginkan. Dimana sistem kendali yang baik mempunyai tanggapan yang baik terhadap sinyal masukan yang beragam.

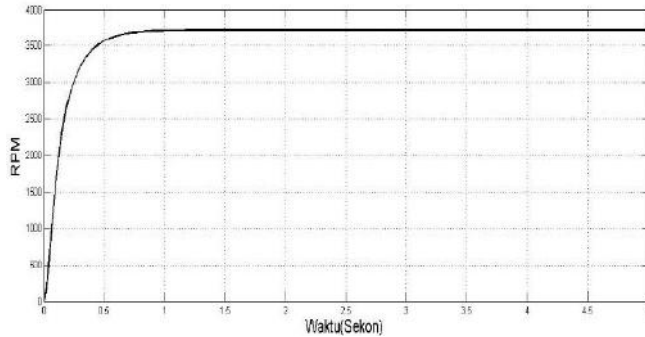
#### **4.8 Pengujian *Open Loop System* Untuk masing-masing Beban**

Berikut ini merupakan hasil pengujian masing-masing dengan perubahan beban dan arus. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui RPM yang dihasilkan.



#### 4.8.1. Respon *open loop system* untuk beban 100 watt dengan arus 0,45 ampere

Pada pengujian beban 100 watt dengan arus 0,45 ampere, maka respon yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

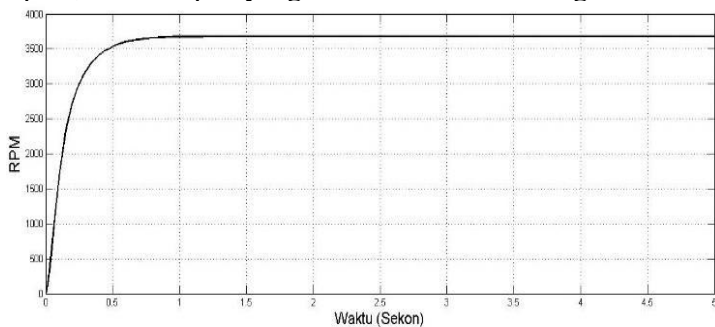


**Gambar 4.22** Respon Pengujian *Open Loop System* Untuk Beban 100 Watt Dengan Arus 0,45 Ampere

Dari simulasi dan respon yang dihasilkan maka RPM nya adalah 3683.

#### 4.8.2. Respon *Open Loop System* Untuk Beban 200 Watt Dengan Arus 0,90Ampere

Pada pengujian beban 200 watt dengan arus 0,90 ampere, maka respon yang dihasilkan adalah sebagai berikut:



**Gambar 4.23** Respon Pengujian *Open Loop System* Untuk Beban 200 Watt Dengan Arus 0,9 Ampere

Dari simulasi dan respon yang dihasilkan maka RPM nya adalah 3658.

#### 4.9 Hubungan antara RPM dan Variasi Beban

Berikut meruakan variasi beban dan RPM yang dihasilkan :

**Tabel 4.7** Variasi Beban dan RPM yang dihasilkan

No.	Voltage (Tegangan)	Beban (Watt)	Arus (Ampere)	RPM
1	220	100	0,45	3683
2	220	200	0,9	3658
3	220	300	1,3	3645
4	220	400	1,8	3619
5	220	500	2,2	3591
6	220	600	2,7	3552
7	220	700	3,1	3524
8	220	800	3,6	3510
9	220	900	4	3496
10	220	1000	4,5	3480
11	220	1100	5	3454
12	220	1200	5,4	3439

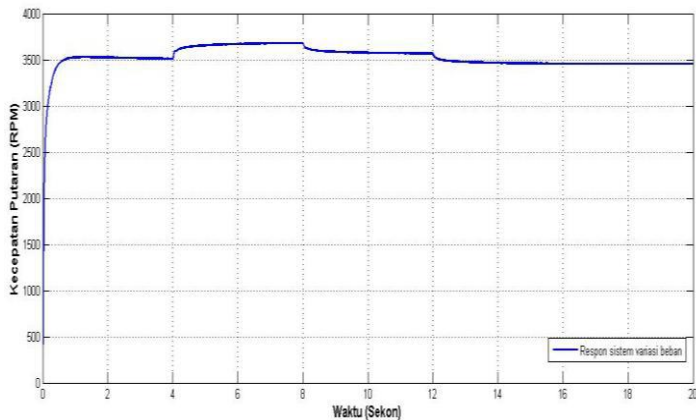
Berikut merupakan grafik hubungan antara RPM dan beban masing-masing pada genset.



**Gambar 4.24** Grafik Hubungan Antara Variasi Beban dan RPM yang dihasilkan

#### 4.10 Respon Perubahan Te dan Arus Beban Lampu

Berikut merupakan respon sistem dari perubahan nilai te dan arus beban lampu :



**Gambar 4.25** Respon perubahan te dan arus beban lampu

Pada gambar 4.25 dapat dijelaskan bahwa respon mengalami perubahan apabila dilakukan perubahan nilai te dan arus beban lampu. Hal ini menunjukkan bahwa sistem sangat peka terhadap terhadap input yang diberikan.

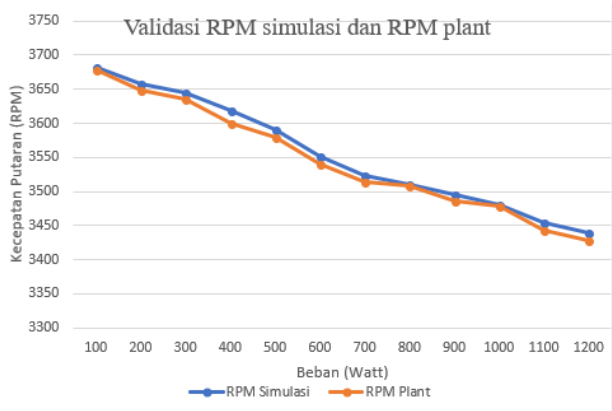
#### 4.11 Validasi Pemodelan

Validasi pemodelan dilakukan agar menjadi acuan bahwa pemodelan yang telah di imlemasikan kedalam sistem bisa dianggap valid. Walaupun ada nilai error yang dihasilkan. Error yang dihasilkan seharusnya  $>2\%$ . Sehingga bisa dianggap valid.

Berikut merupakan tabel yang berisi data *voltage*, beban lamu, RPM pada simulasi dan RPM pada *real plant* :

**Tabel 4.8** Validasi RPM simulasi dan RPM plant

No	Voltage (Tegangan)	Beban (Watt)	Arus (Ampere)	RPM simulasi	RPM Plant
1	220	100	0,45	3683	3678
2	220	200	0,9	3658	3648
3	220	300	1,3	3645	3635
4	220	400	1,8	3619	3600
5	220	500	2,2	3591	3682
6	220	600	2,7	3552	3541
7	220	700	3,1	3524	3514
8	220	800	3,6	3510	3509
9	220	900	4	3496	3487
10	220	1000	4,5	3480	3479
11	220	1100	5	3454	3443
12	220	1200	5,4	3439	3428



**Gambar 4.26** Hubungan antara variasi beban, rpm pada simulasi dan rpm pada *real plant*

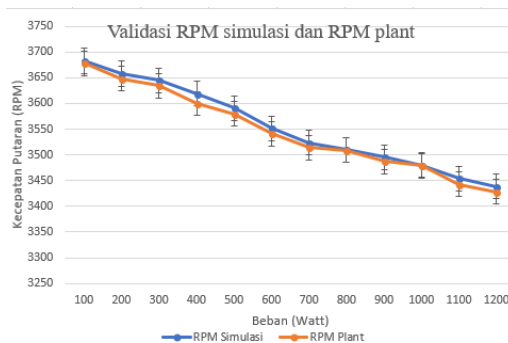
#### 4.11.1 Perhitungan nilai *error*

Berikut merupakan hasil perhitungan nilai *error* :

**Tabel 4.9** Hasil Perhitungan Nilai *Error*

No.	Tegangan (Voltage)	Beban (Watt)	Arus (Ampere)	RPM simulasi	RPM Plant	Error
1	220	100	0,45	3683	3678	0,135
2	220	200	0,9	3658	3648	0,273
3	220	300	1,3	3645	3635	0,274
4	220	400	1,8	3619	3600	0,525
5	220	500	2,2	3591	3682	0,250
6	220	600	2,7	3552	3541	0,309
7	220	700	3,1	3524	3514	0,283
8	220	800	3,6	3510	3509	0,028
9	220	900	4	3496	3487	0,257
10	220	1000	4,5	3480	3479	0,028
11	220	1100	5	3454	3443	0,318
12	220	1200	5,4	3439	3428	0,319
Rata-rata						0,250

Dari data error tersebut maka didapatkan nilai error sebesar 0,250%. Dengan demikian RPM yang dihasilkan dari simulasi dan RPM yang dihasilkan dari *plant* memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan.



**Gambar 4.27** Grafik *error* yang dihasilkan

*(Halaman ini sengaja di kosongkan)*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Adapun kesimpulan yang didapatkan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil perancangan dan simulasi menggunakan software matlab 2013b maka didapatkan respon sistem kecepatan putaran dengan set point RPM sebesar 3000. Untuk beban 1200 watt nilai *maximum overshoot* adalah 8,6%, *delay time* 0,1 sekon, *risie time* 0,4 sekon, *peak time* 0,8 sekon dan *settling time* 4 sekon. Sedangkan parameter PID yang didapatkan pada sistem kecepatan putaran genset yaitu untuk  $K_p=1,4$ ,  $K_i=1,3$  dan  $K_d=0,12$ .
2. Respon yang dihasilkan pada *close loop system* stabil dengan mempertahankan set point RPM yaitu 3000 RPM. Hal ini membuktikan bahwa sistem telah dikendalikan oleh kontrol PID dengan baik. Ketika sistem diberi variasi beban secara terus-menerus maka sistem tersebut akan mempertahankan *set point*. Sedangkan respon yang dihasilkan pada *open loop system* sangat bervariasi karena nilai RPM yang dihasilkan juga berbeda-beda. Dengan variasi RPM yang dihasilkan menunjukkan bahwa variasi beban juga berpengaruh terhadap sistem. Semakin besar beban yang diberikan maka RPM yang dihasilkan semakin kecil. Untuk validasi model didapatkan nilai *error* sebesar 0,250%.

#### **5.1 Saran**

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya, antara lain :

1. Pengujian sensor harus dilakukan secara teliti karena jika ada kesalahan pada perhitungan maupun pada saat pelaksanaan akan menyebabkan kesalahan dalam perhitungan sensor.

2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk kontrol kecepatan putaran dengan menggunakan algoritma kontrol cerdas (*artificial intellegent*) untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

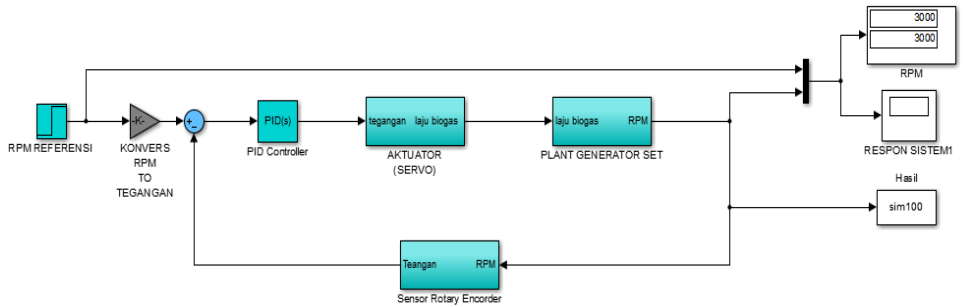


## DAFTAR PUSTAKA

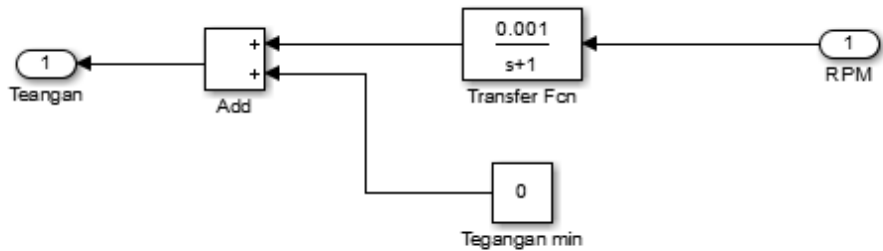
- [1] Abdurrahman, A., Soehartanto, T. 2014. “*Analisis Karakterisasi Water Scrubber pada Alat Purifikasi Biogas Tipe Kombinasi Spray Tower dan Tray Tower*”. Seminar Nasional Teknologi Terapan. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- [2] Abdurrahman, A., Soehartanto, T., Sudarmanta, B.2013. “*Rancang Bangun Alat Purifikasi Biogas dengan Menggunakan CaO dan Water Scrubber*”, Seminar Nasional Pascasarjana XIII – ITS. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [3] Mostofa A. Fellani, Aboubaker M. Gabaj.2015. “PID Controller”. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, Vol. 5 No. 3, June 2015.
- [4] Sadono, S., Sihana, Effendy, N. 2013. “*Identifikasi Sistem Governor Control Valve Dalam Menjaga Kestabilan Putaran Turbin Uap PLTP Wayang Windu Unit 1*”. Vol.2 Edisi September 2013, ISSN 2089-7154. Yogyakarta: Teknik Fisika.
- [5] Hardiansyah, Firmansyah, E., Isnaini . 2006. “*Pengendalian Beban Generator secara Otomatis dengan Algoritma PID pada PLTMH Berbasis PLC*”, Jurnal Teknologi, Volume 5 Nomor 2, Desember 2012, 114-121.
- [6] Saputro, D.,A. 2016. “*Siklus Kerja mesin 4 langkah*”. Surakarta: Universitas Muhammadiyah.
- [7] Santosa, B. dan Willy, P., 2011. “*Metoda Metaheuristik Konsep dan Implementasi*”. Surabaya: Graha ilmu.
- [8] Harahap, F. 1980. “*Teknologi Gas Bio*”, Pusat Teknologi Pembangunan .Bandung: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- [9] Hadi Ichnata, Wardany.2011. "*Spesifikasi unsur-unsur dasar kimia*". Bandung.
- [10] Oscorio, Torres., (2009), "*Komposisi biogas yang dihasilkan dari pencernaan anaerobik*". Malang.

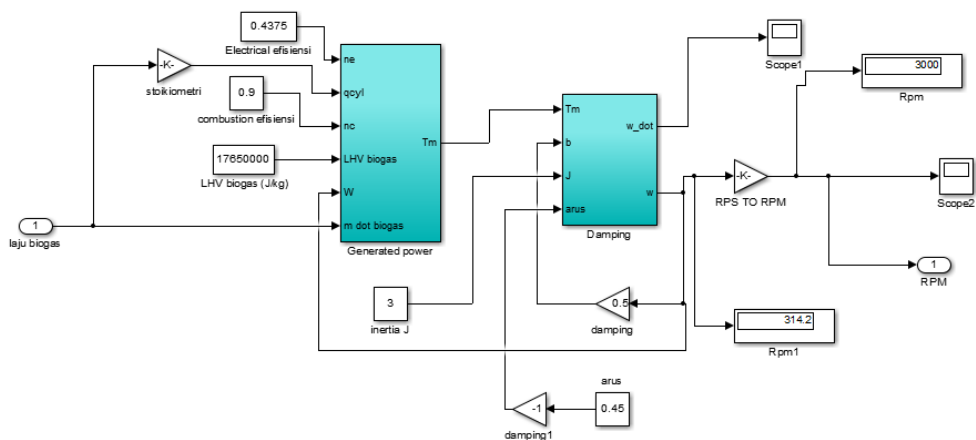
## LAMIRAN C SIMULINK



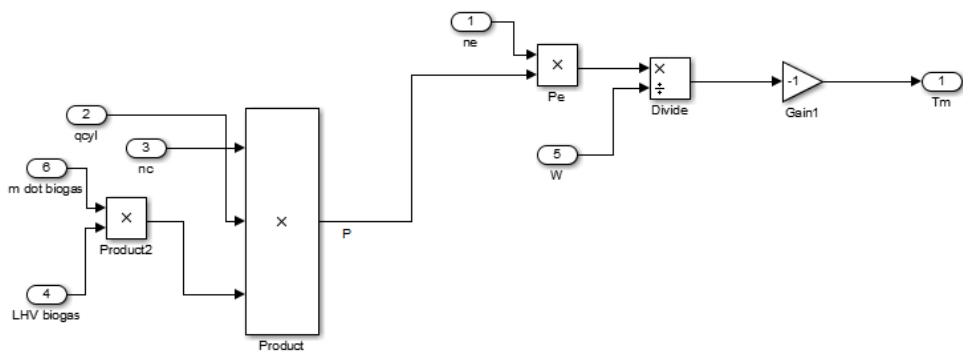
## Sistem Close Loop Keseluruhan



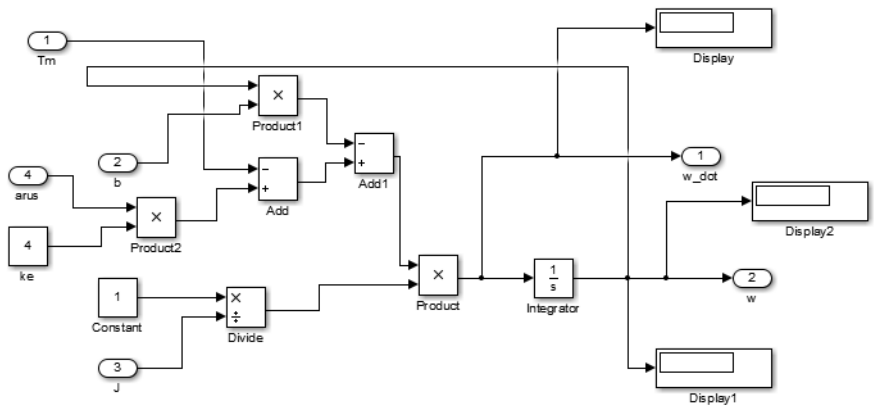
## Simulink sensor (Rotary Encoder)



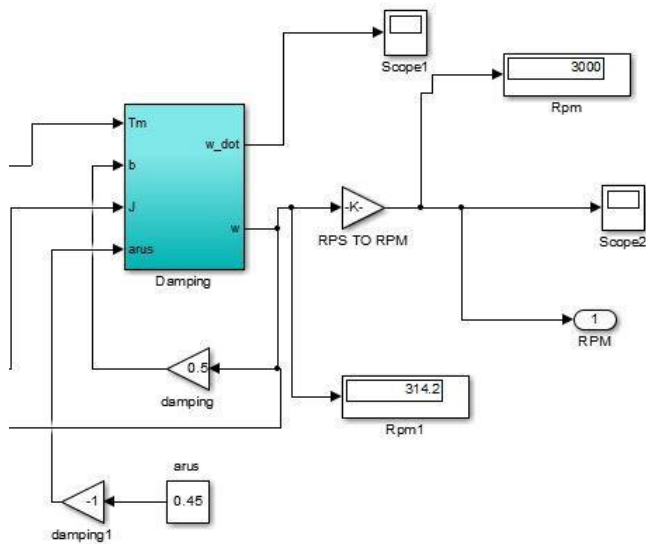
*Simulink plant generator set*



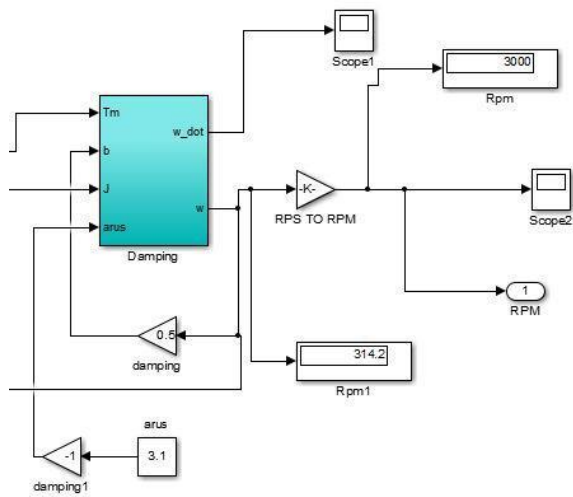
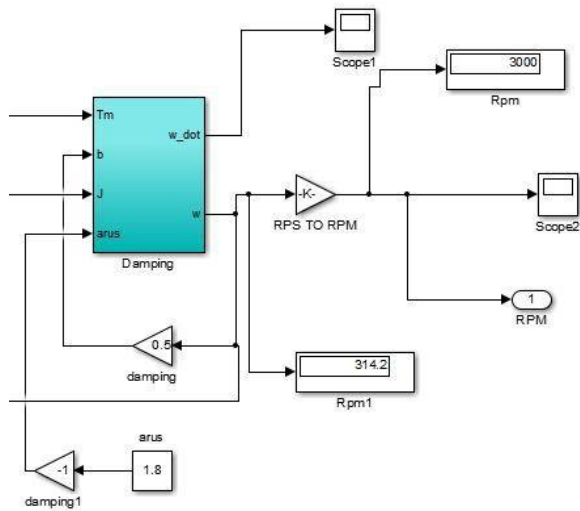
*Simulink Generated Power*

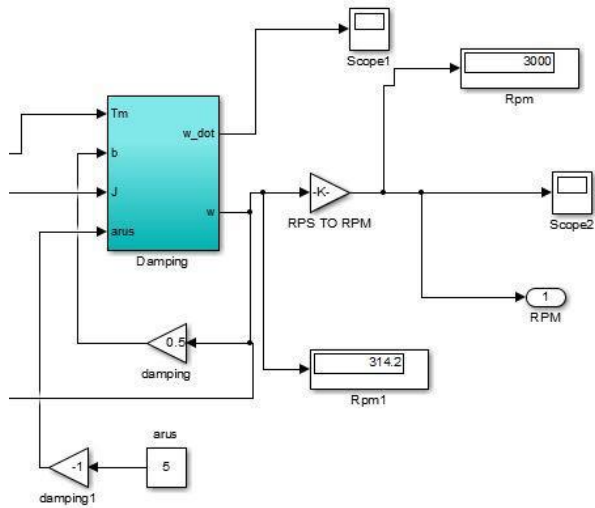


### Simulink damping

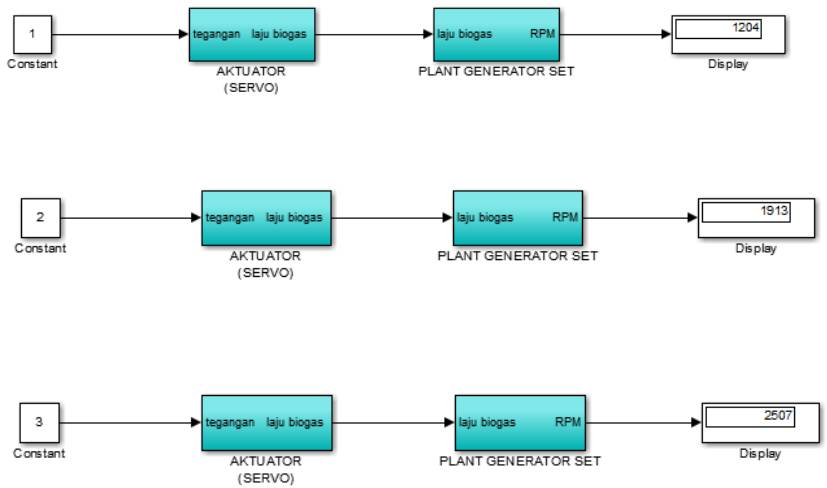


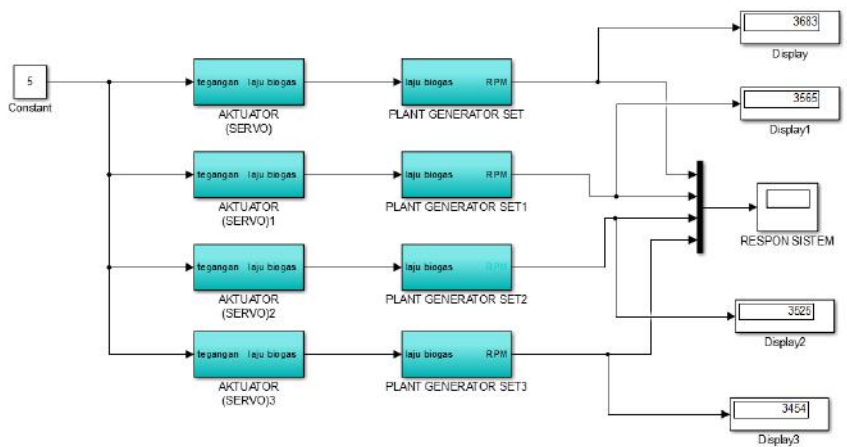
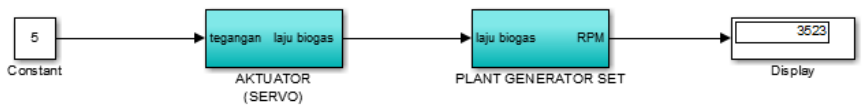
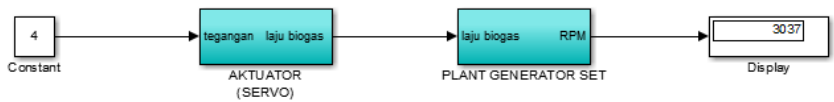
Pengujian *close loop* dengan beban 100 watt





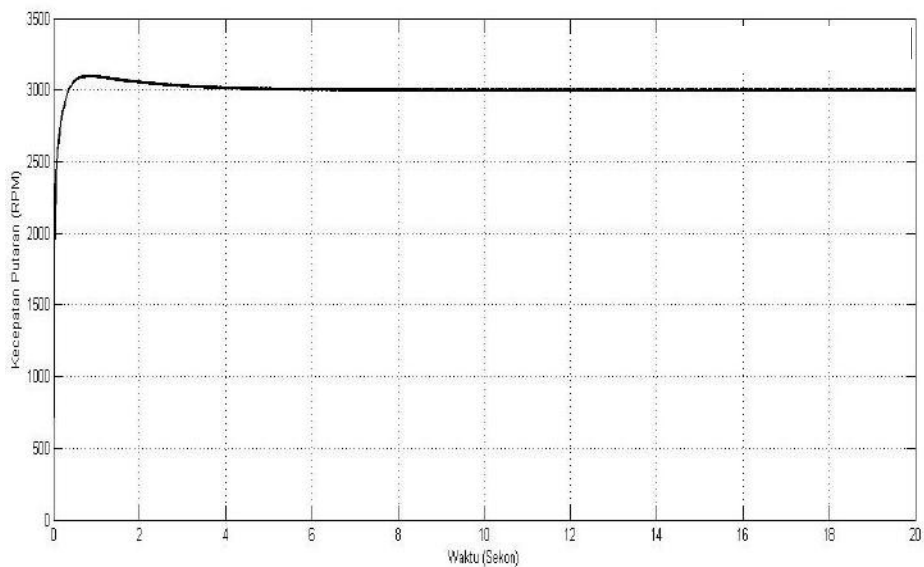
Hubungan antara tegangan dan kecepatan



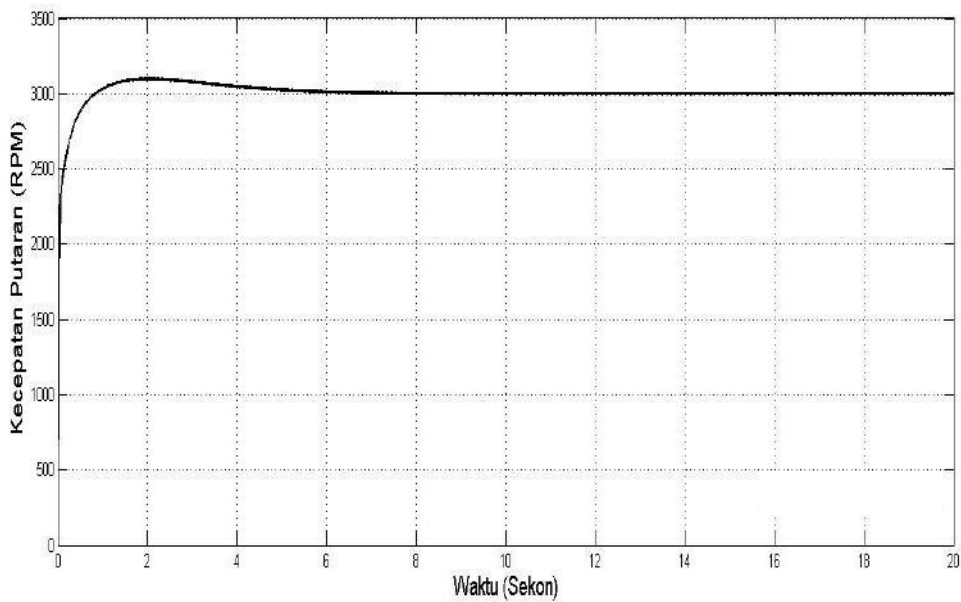




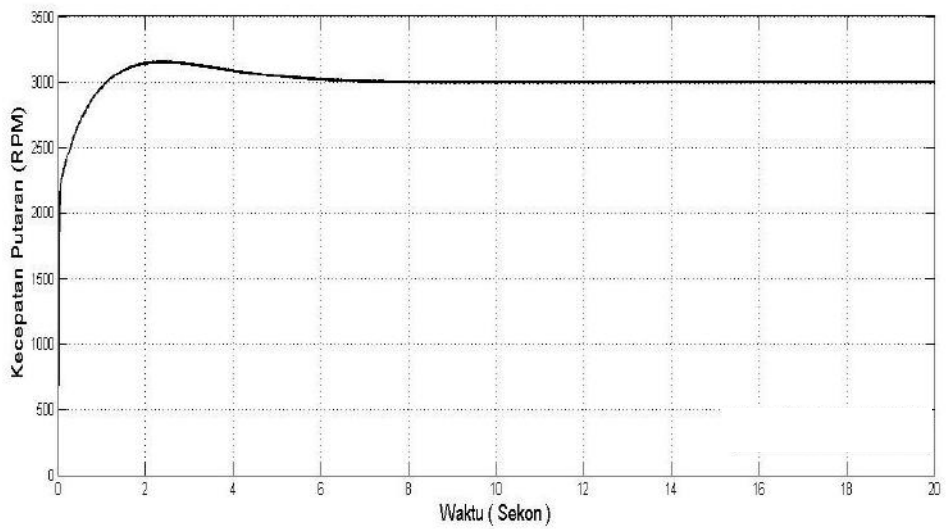
*Set point 3000 untuk beban 1200 watt*



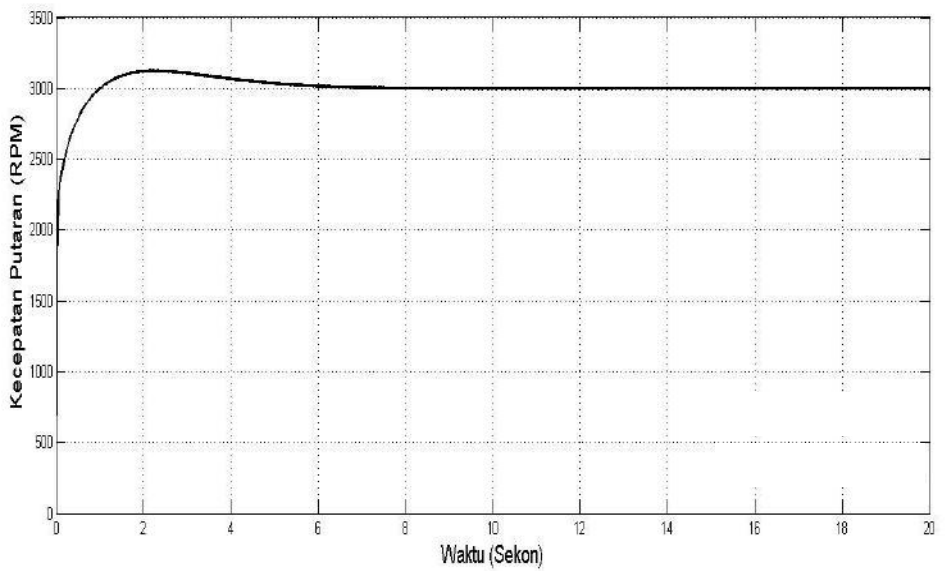
*Set point 3000 untuk beban 1100 watt*



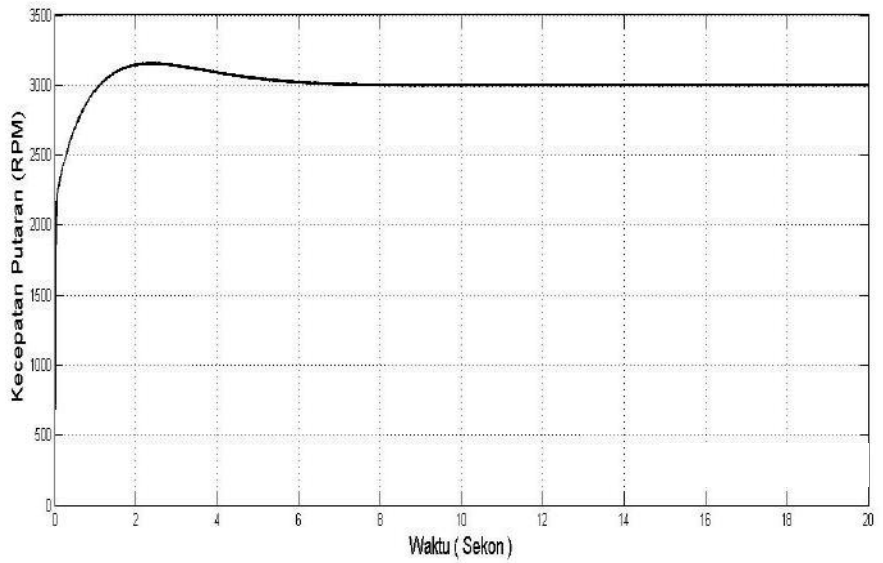
*Set point 3000 untuk beban 1000 watt*



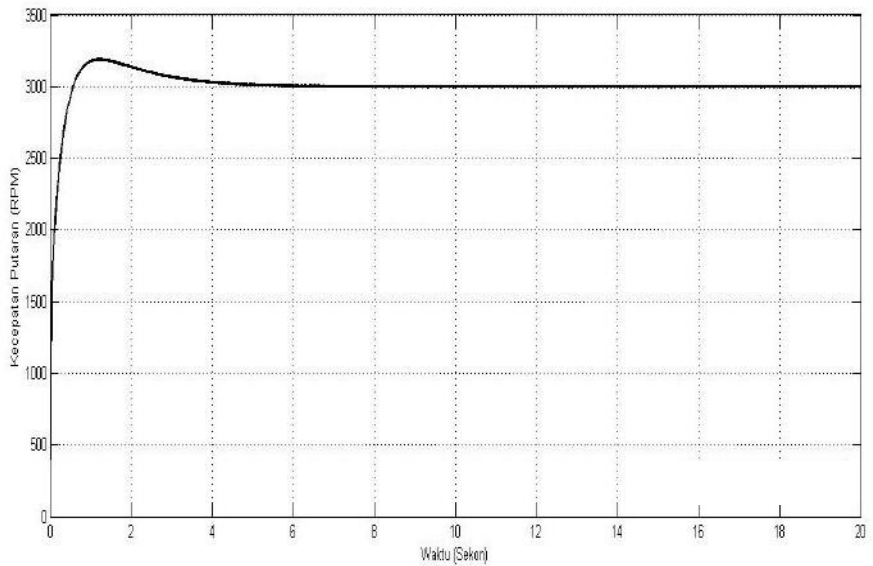
*Set point 3000 untuk beban 900 watt*



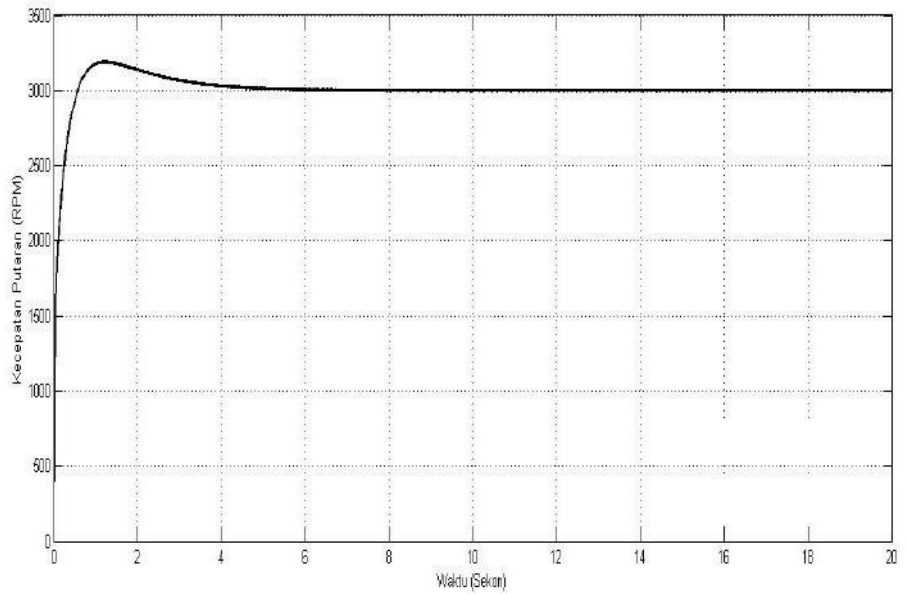
*Set point 3000 untuk beban 800 watt*



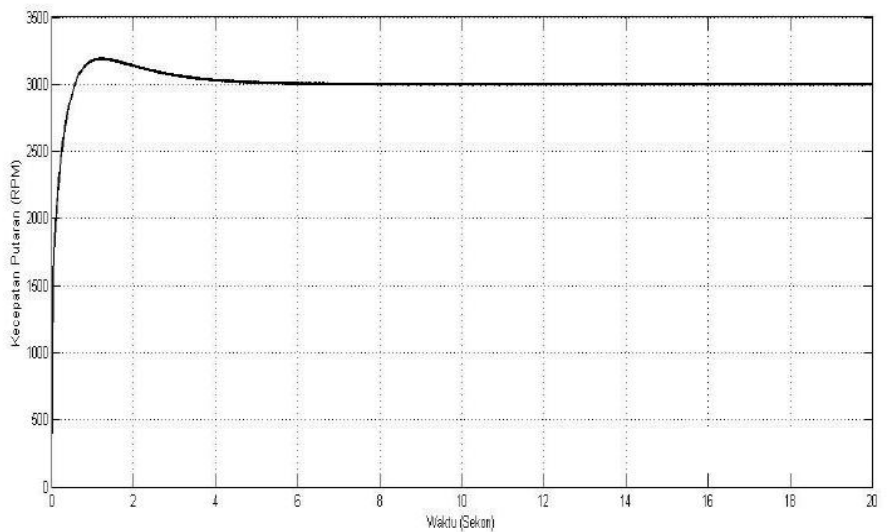
*Set point 3000 untuk beban 700 watt*



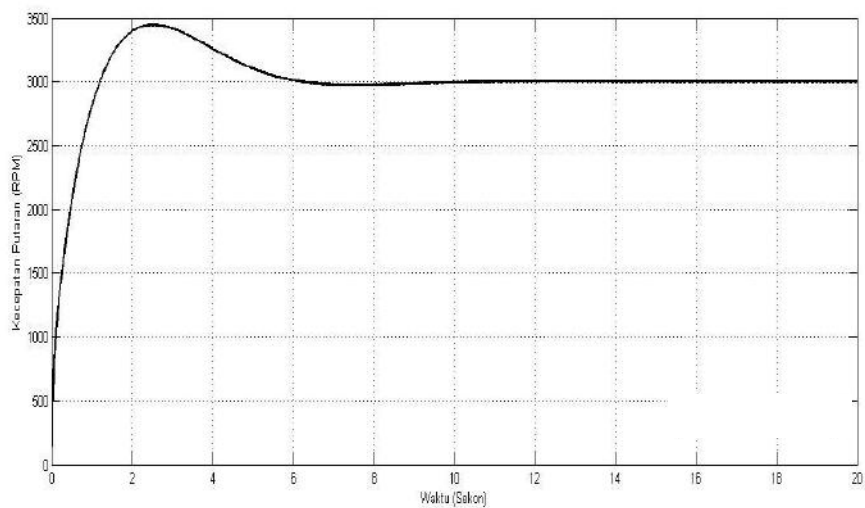
*Set point 3000 untuk beban 600 watt*



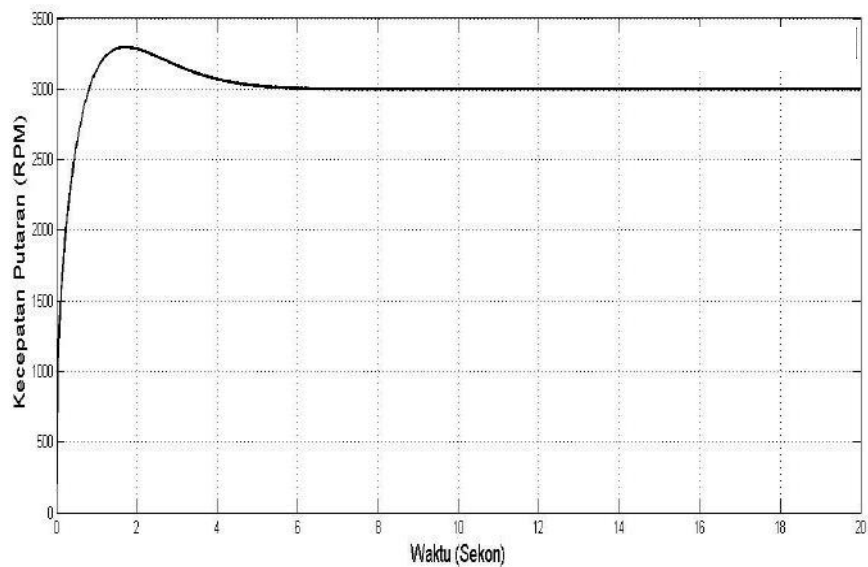
*Set point 3000 untuk beban 500 watt*



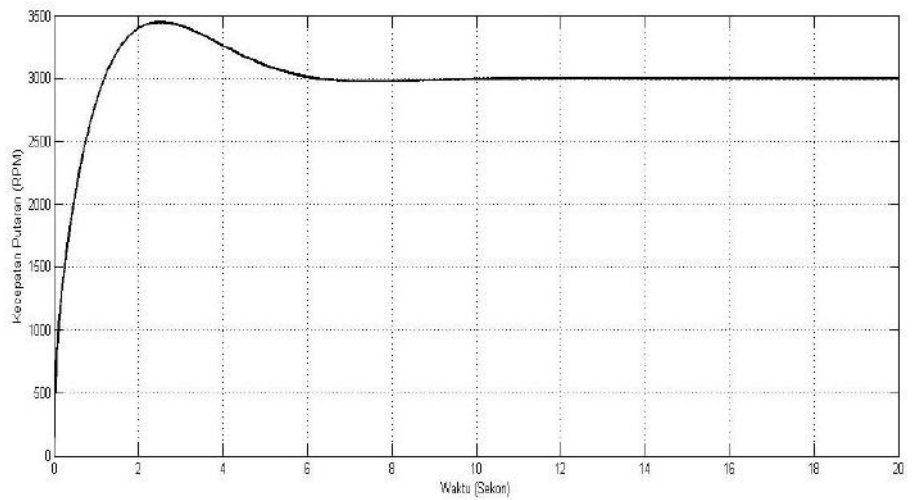
*Set point 3000 untuk beban 400 watt*



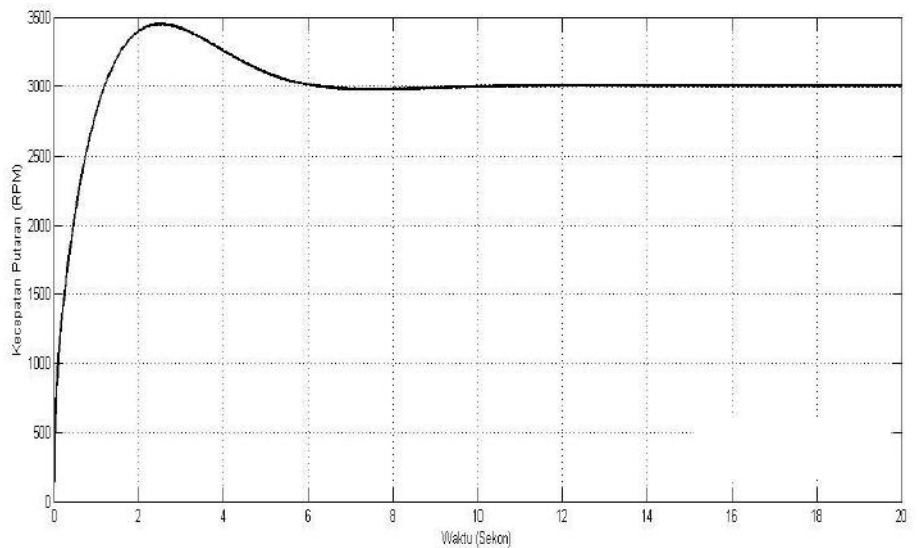
*Set point 3000 untuk beban 300 watt*



*Set point 3000 untuk beban 200 watt*



*Set point 3000 untuk beban 100 watt*



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdurrahman, A., Soehartanto, T. 2014. “*Analisis Karakterisasi Water Scrubber pada Alat Purifikasi Biogas Tipe Kombinasi Spray Tower dan Tray Tower*”. Seminar Nasional Teknologi Terapan. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- [2] Abdurrahman, A., Soehartanto, T., Sudarmanta, B.2013. “*Rancang Bangun Alat Purifikasi Biogas dengan Menggunakan CaO dan Water Scrubber*”, Seminar Nasional Pascasarjana XIII – ITS. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [3] Mostofa A. Fellani, Aboubaker M. Gabaj.2015. “PID Controller”. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, Vol. 5 No. 3, June 2015.
- [4] Sadono, S., Sihana, Effendy, N. 2013. “*Identifikasi Sistem Governor Control Valve Dalam Menjaga Kestabilan Putaran Turbin Uap PLTP Wayang Windu Unit 1*”. Vol.2 Edisi September 2013, ISSN 2089-7154. Yogyakarta: Teknik Fisika.
- [5] Hardiansyah, Firmansyah, E., Isnaini . 2006. “*Pengendalian Beban Generator secara Otomatis dengan Algoritma PID pada PLTMH Berbasis PLC*”, Jurnal Teknologi, Volume 5 Nomor 2, Desember 2012, 114-121.
- [6] Saputro, D.,A. 2016. “*Siklus Kerja mesin 4 langkah*”. Surakarta: Universitas Muhammadiyah.
- [7] Santosa, B. dan Willy, P., 2011. “*Metoda Metaheuristik Konsep dan Implementasi*”. Surabaya: Graha ilmu.
- [8] Harahap, F. 1980. “*Teknologi Gas Bio*”, Pusat Teknologi Pembangunan .Bandung: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- [9] Hadi Ichnata, Wardany.2011. "*Spesifikasi unsur-unsur dasar kimia*". Bandung.
- [10] Oscorio, Torres., (2009), "*Komposisi biogas yang dihasilkan dari pencernaan anaerobik*". Malang.